

VŠB- Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra energetiky

Tepelné čerpadlo vzduch-voda pro rodinný dům

Air to Water Heat Pump for Detached House

Vypracoval:
Vedoucí diplomové práce:

Tomáš Vladař
doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

2014

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Tomáš Vladař**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2302T006 Energetické stroje a zařízení
Téma: **Tepelné čerpadlo vzduch - voda pro rodinný dům**
Air to Water Heat Pump for Detached House

Zásady pro vypracování:

Zpracujte návrh vytápění, přípravy teplé vody a sezónního ohřevu vody v bazénu pro rodinný dům s využitím tepelného čerpadla vzduch - voda. Práce bude obsahovat:

1. Bilanční a kapacitní výpočty potřeb tepla. Návrh topného výkonu TČ a bivalentního bodu.
2. Zapojení tepelného čerpadla do systému. Projekční návrh zapojení zdroje tepla na bazén.
3. Analýzu energetického, ekonomického a environmentálního přínosu v porovnání se stávajícím zdrojem.
4. Grafickou část - schéma zapojení, projekční výkres napojení na bazén, dispoziční řešení.

Seznam doporučené odborné literatury:

KAMINSKÝ, J.; VRTEK, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1998. 102 s. ISBN 80-7078-445-8.

NOVÝ, R. a kol. *Technika prostředí*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. 267 s. ISBN 80-01-03492-5.

DVOŘÁK, Z.; KLAZAR, L.; PETRÁK, J. *Tepelná čerpadla*. Vyd. 1. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987. 339 s.

PETRÁK, J.; PETRÁK, M. *Tepelná čerpadla*. Praha: ČVUT Praha, 2004. 245 s. ISBN 80-01-03126-8.

TURNER, W. C. *Energy Management Handbook*. 5. vydání. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 400 s. ISBN: 0-13-728098-X.

MORAN, M.J.; SHAPIRO, H.N. *Fundamental of Engineering Thermodynamics*. 2. vyd. New York: John Wiley & Sons Inc., 1992. 844 s. ISBN 0470030372.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



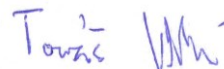
prof. Ing. Dagmar Juchelková, Ph.D.
vedoucí katedry

doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 24.4.2014



Tomáš Vladař

Prohlašuji že,

jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít dle § 35 odst. 3.

Souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce.

Dále souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v systému VŠB-TUO.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona. Také bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 24.4.2014

Jméno a příjmení autora práce:

Tomáš Vladař

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Srbská 11, Ostrava 700 30

Anotace diplomové práce

Vladař Tomáš, Bc.: Tepelné čerpadlo vzduch-voda pro rodinný dům

Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra energetiky, 2013

Vedoucí práce: doc. Ing. Mojmír Vrtek, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá využitím tepelného čerpadla vzduch-voda pro ohřev rodinného domu, TV a malého venkovního bazénu. V úvodní teoretické části jsou uvedeny teoretické informace o typech tepelných čerpadel a možnosti ohřevu TV. V praktické části se věnuji již řešením této problematiky, tedy propočty tepelných ztrát domu, potřeby tepla a teplé užitkové vody, tepelných bilancí venkovního malého bazénu a následný návrh tepelného čerpadla pro ohřev rodinného domu, ohřevu teplé užitkové vody a malého bazénu. V závěru uvádím ekonomické náklady, environmentální dopady a návratnost tohoto systému.

This thesis deals with the use of heat pump air to water for heating the house, hot water and a small outdoor swimming pool. The theoretical section provides theoretical information about the types of heat pumps and hot water option. In the practical part I have the solution to this problem, calculations of heat losses of the house, needs heat and hot water, heat balances of a small outdoor swimming pool, the design of heat pumps for heating the house, hot water and a small pool. At the close economic costs environmental impact and return on this system.

Obsah

1. Úvod.....	8
2. Tepelné čerpadlo	9
2.1. Princip.....	9
2.2. Základní rozdělení tepelných čerpadel	9
2.3. Invertorová tepelná čerpadla.....	11
2.4. Topný faktor.....	12
2.5. Ekvitermní regulace	12
3. Možnosti ohřevu TUV	13
3.1. Ohřev TUV pomocí tepelného čerpadla	13
3.2. Ohřev TUV pomocí solární kolektorů	13
3.3. Ohřev TUV pomocí zásobníků s integrovaným tepelným čerpadlem.....	14
4. Obecný popis objektu.....	15
4.1. Popis území.....	15
4.2. Popis objektu.....	15
5. Výpočet tepelných ztrát.....	17
5.1. Výpočet tepelných ztrát objektu, potřeby tepla na vytápění a průměrného součinitele prostupu tepla	17
5.2. Vzorový výpočet tepelné ztráty místnosti.....	25
6. Technický popis tepelného čerpadla	29
6.1. Vnitřní jednotka	29
6.2. Venkovní jednotka	29
6.3. Technické parametry tepelného čerpadla Neoré MTX 5	30
6.4. Podrobné technické parametry tepelného čerpadla Neoré MTX.....	31
6.5. Vzorový výpočet.....	35
6.6. COP.....	36
6.7. Celková spotřeba za rok.....	39
7. Návrh otopných těles pro ústřední vytápění.....	42
8. Bazén.....	45
8.1. Tepelná bilance a určení vhodného zařízení	45
8.2. Potřeby tepla pro ohřev vody venkovního bazénu.....	45
8.3. Výpočet s nočním zakrýváním bazénu	47
9. Analýza energetického, ekonomického a environmentálního přínosu.....	52
9.1. Pořizovací náklady na tepelné čerpadlo.....	52
9.2. Výpočet ročních nákladů pro tepelné čerpadlo.....	52
9.3. Výpočet ročních nákladů pro přímotopy	53
9.4. Porovnání provozních nákladů	54
9.5. Environmentální zhodnocení	55
10. Závěr.....	56
Seznam použité literatury a internetových odkazů.....	57
Seznam použitých symbolů a zkratk.....	58
Přílohy.....	60

Seznam obrázků

Obr. č. 2.1	Systém tepelného čerpadla voda-voda.....	9
Obr. č. 2.2	Systém tepelného čerpadla země-voda.....	10
Obr. č. 2.3	Systém tepelného čerpadla vzduch-voda.....	10
Obr. č. 2.4	Systém tepelného čerpadla vzduch-vzduch.....	11
Obr. č. 3.1	Využití tepelného čerpadla pro ohřev TUV.....	13
Obr. č. 3.2	Schéma solární přípravy teplé vody pro rodinný dům.....	13
Obr. č. 3.3	Ohřívač vody Sunline.....	14
Obr. č. 4.1	Vizualizace domu.....	15
Obr. č. 4.2	Půdorys domu.....	16
Obr. č. 5.1	Místnost č.8.....	25
Obr. č. 5.2	Grafické znázornění denostupňů.....	28
Obr. č. 6.1	Vnitřní a venkovní jednotka Neoré MTX 5.....	29
Obr. č. 7.1	Závislost talkové ztráty na hmotnostním průtoku.....	44
Obr. č. 9.1	Rozpis dodávek a nákladů el.energie tepelné čerpadlo.....	53
Obr. č. 9.2	Rozpis dodávek a nákladů el.enrgie přímotopy.....	54

Seznam tabulek:

Tabulka č.1	Denostupně.....	27
Tabulka č. 2.1	Výpočet potřebného tepla pro vytápění.....	32
Tabulka č. 2.2	Výpočet potřebného tepla pro vytápění.....	33
Tabulka č. 3.1	Výpočet COP.....	36
Tabulka č. 3.2	Výpočet COP.....	37
Tabulka č. 4	Součinitel přestupu tepla vypařováním.....	47
Tabulka č. 5	Výpočet tepelné ztráty ve dne.....	49
Tabulka č. 6	Výpočet tepelné ztráty v noci.....	49
Tabulka č. 7	Teplo získané absorbcí.....	50

Seznam grafů:

Graf č.1	Průběh veličin Q_t	34
Graf č.2	Výkonový bivalentní bod.....	34
Graf č.3	Průběh veličin COP.....	38

1. Úvod

V současné době je kladen velký důraz na ekologické a zároveň ekonomické vytápění jak rodinných, tak i bytových domů. K jednomu z možných zdrojů patří tepelná čerpadla vzduch-voda, které v porovnání se spalovacími topnými systémy značně snižuje emise CO₂ v atmosféře. Jejich obliba a nárůst instalací také dokazuje statistika ministerstva průmyslu a obchodu, kdy v roce 2011 bylo na český trh dodáno 7 015 tepelných čerpadel o celkovém výkonu cca 86 MW, v roce 2010 bylo na český trh dodáno zhruba 6 564 tepelných čerpadel o celkovém výkonu cca 82 MW a v roce 2009 bylo na český trh dodáno zhruba 4 845 tepelných čerpadel o celkovém výkonu přes 64 MW.

Celkově bylo do roku 2012 dodáno zhruba 46 tisíc tepelných čerpadel s celkovým instalovaným výkonem cca 618 MW.

S novými technologiemi, jako je invertorové řízení výkonu a Scroll kompresory dosahují hodnoty topného faktoru již standardně hodnot 4 a více. Nezanedbatelným přínosem pro uživatele je také snadná obsluha a také to, že na rozdíl od kotlů na tuhá paliva odpadají náklady na dovoz, manipulaci a skladování otopu.

2. Tepelné čerpadlo

2.1. Princip

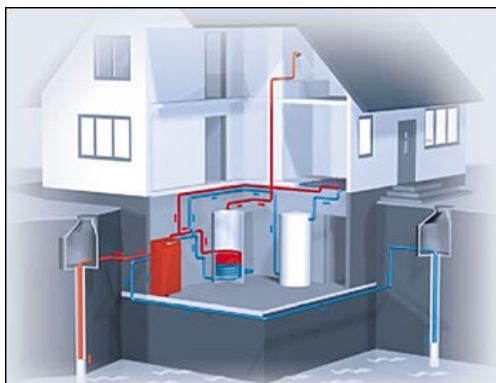
Teplo ze vzduchu, nebo okruhu zemního kolektoru způsobí vypařování chladiva, které má nízký bod varu. Páry chladiva jsou stlačeny kompresorem a tím se jejich teplota zvýší. Prochází výměníkem (kondenzátorem), kde kondenzují a předávají teplo otopné vodě. Pak se prudce ochladí průchodem expanzním ventilem a celý cyklus se opakuje.

2.2. Základní rozdělení tepelných čerpadel

V nabídce tuzemských dodavatelů a výrobců jsou čtyři základní typy dle využití energie:

Voda- Voda

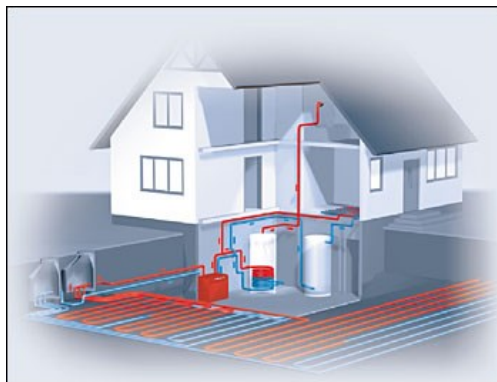
U tohoto systému je zdrojem energie povrchová nebo spodní voda. Výhodou tohoto zdroje je stálá teplota vody, v průměru 10°C, jde tedy o nejteplejší zdroj. Topný faktor u těchto tepelných čerpadel dosahuje 6. Nevýhodou je pak snížené množství lokalit, kde lze tento systém použít.



Obr. č.2.1: Systém tepelného čerpadla voda-voda

Země – Voda

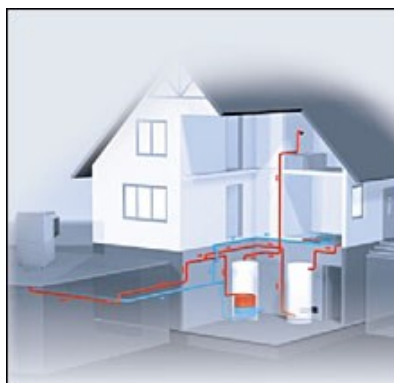
Tento druh tepelného čerpadla můžeme dále rozdělit na hlubinné vrtů a plošné kolektory. Zdrojem energie je v tomto případě půda. Rozvody, které obsahují nemrznoucí směs, vedou v zemi. Nevýhodou, zejména u hlubinných vrtů, jsou vysoké pořizovací náklady a nutnost povolení příslušného stavebního úřadu.



Obr. 2.2: Systém tepelného čerpadla země-voda

Vzduch-Voda

Tato tepelná čerpadla získávají energii z okolního vzduchu. Výhodou jsou nízké pořizovací náklady a jednoduchá instalace, nevýhodou může být hlučnost venkovní jednotky při špatném umístění a snížení výkonu a topného faktoru při nízkých teplotách.



Obr. 2.3: Systém tepelného čerpadla vzduch-voda

Vzduch-Vzduch

Ve své podstatě se jedná o klimatizaci s funkcí tepelného čerpadla. Tyto systémy jsou vhodné např. pro klimatizaci a vytápění administrativních budov. Výhodou je jednoduchá instalace, nízké pořizovací náklady. Nevýhodou jsou provozní teploty těchto jednotek, většinou pouze do -15°C .



Obr.č. 2.4: Systém tepelného čerpadla vzduch-vzduch

2.3. Invertorová tepelná čerpadla

Klasická tepelná čerpadla mají standardní jedno-rychlostní kompresor s daným počtem otáček (Fix Speed) a proto nemají možnost zvyšovat nebo redukovat jejich okamžitý výkon. Po většinu času je však tepelné čerpadlo v provozu s částečnou zátěží, takže pro zachování požadovaných teplot je nutný jen zlomek jejich dodávaného výkonu. Aby bylo možno jejich odevzdávaný výkon regulovat, jednoduše cyklicky vypínají a zapínají svůj kompresor. To vede k nepříjemnému kolísání teplot, zbytečnému zatížení hlukem a výrazným ztrátám energie. Naproti tomu invertorové přístroje řídí svůj odevzdávaný výkon velice pečlivě, což vede k výraznému zlepšení komfortu prostředí, poklesu hlučnosti, vyšší efektivitě a nižší spotřebě energie. Tyto přístroje mají energetickou náročnost třídy A. Invertor (digitální frekvenční měnič) řídí okamžitý výkon tepelného čerpadla. Změnou frekvence a napětí je dosahována plynulá regulace otáček kompresoru, což umožňuje tepelnému čerpadlu přizpůsobit okamžitý vydávaný výkon skutečným podmínkám. Pokud je teplota v místnosti výrazně nižší než teplota požadovaná, tepelné čerpadlo pracuje s maximálním výkonem, aby mohl zaručit rychlé dosažení požadované teploty. Jakmile teplota v místnosti dosáhne

požadované hodnoty, invertor přizpůsobí řízení výkonu tak, aby dosažená požadovaná teplota byla zachována.

2.4. Topný faktor

Základním parametrem tepelných čerpadel je topný faktor (**COP** – Coefficient of Performance). Toto bezrozměrové číslo vypovídá o efektivnosti tepelného čerpadla. Jedná se o poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. Čím je vyšší topný faktor, tím lepší je tepelné čerpadlo, protože je jeho provoz levnější.

Topný faktor také ovlivňují

- Vstupní teplota nízkopotenciálního zdroje, ze kterého je teplo odebíráno – čím vyšší tato teplota je, tím vyšší je topný faktor. Proto je vhodným zdrojem ten, který má stálou a co nejvyšší teplotu – podzemní voda
- Výstupní teplota z TČ – čím je nižší, tím je vyšší topný faktor. Tato teplota však dosahuje maximálních hodnot do 65 °C, která je vhodnější pro podlahové vytápění nebo nízkoteplotní velkoplošná tělesa
- Chladivo – vhodné fyzikální a chemické vlastnosti, které jsou však dané výrobcem
- Dobré konstrukční provedení tepelného čerpadla, které rovněž závisí na výrobcí

2.5. Ekvitermní regulace

Ekvitermní regulace teploty v místnosti spočívá v nastavení teploty topné vody (neboli v regulaci zdroje tepla) v závislosti na venkovní teplotě. Při nižší venkovní teplotě je požadována vyšší teplota dodávané topné vody, aby došlo k rovnováze mezi dodaným teplem a tepelnými ztrátami místnosti a teplota místnosti tak zůstala konstantní.

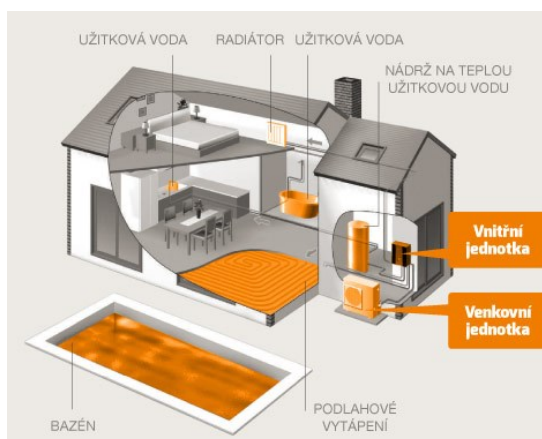
Jsou dva hlavní důvody pro aplikaci ekvitermní regulace:

- Větší tepelná pohoda z důvodu potlačení dynamiky (kolísání) teplot v místnosti.
- Úspora energie, kdy není třeba zdroj tepla ohřívat na maximum a vydávat z něj největší výkon ale pouze vydat takový výkon, který stačí k ohřátí místnosti na požadovanou teplotu v závislosti na venkovní teplotě

3. Možnosti ohřevu TUV

3.1. Ohřev TUV pomocí tepelného čerpadla

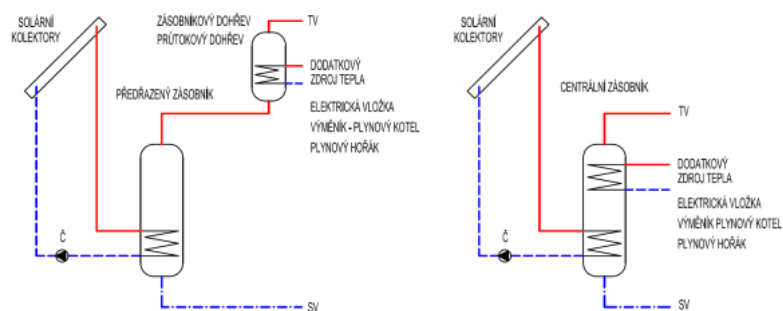
Ohřev vody tepelným čerpadlem je dnes běžným produktem jako volitelná doplňková výbava TČ. Skládá se ze sady pro ohřev TUV a nerezového izolovaného zásobníku o objemu 200 litrů a větší, dle potřeb zákazníka. Součástí zásobníku je elektrický ohřev, který je spouštěn při velmi nízkých teplotách. Pro současná invertorová TČ není problém vyrobit vodu o teplotě 60°C. Díky výkonu TČ a vysokému COP je ohřev TUV rychlý a ekonomický.



Obr. č. 3.1 – Využití tepelného čerpadla pro ohřev TUV

3.2. Ohřev TUV pomocí solární kolektorů

Tato možnost se jeví jako jedna z nejekologičtějších. Skládá se ze solárních kolektorů propojovacích komponent a akumulční nádrže dle potřeb domácnosti (obecně lze říci, že spotřeba teplé užitkové vody je 40-50 l na den/osoba). Nevýhodou těchto systémů je stále vysoká pořizovací hodnota, tím pádem delší návratnost a v neposlední řadě závislost na slunečním svitu, kterého je zejména v zimních měsících málo.



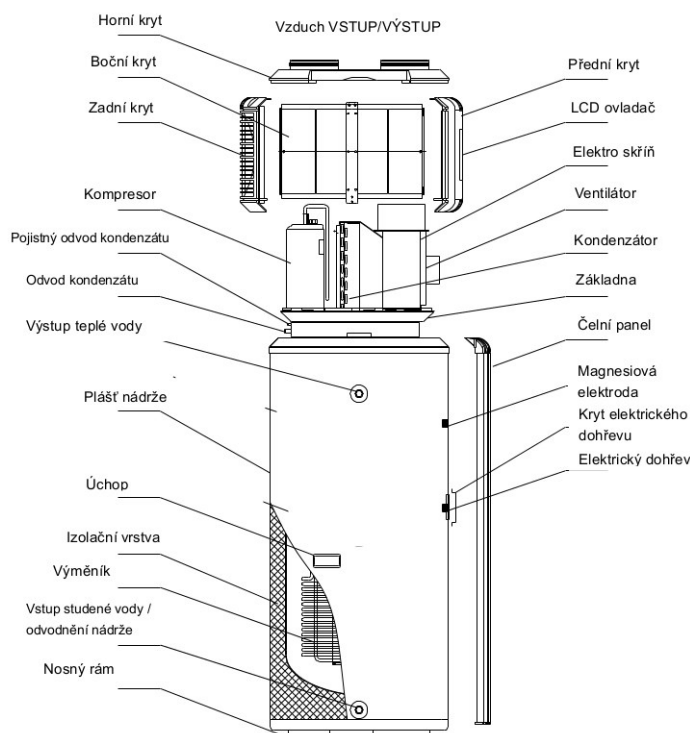
Obr. č. 3.2: Schéma solární přípravy teplé vody pro rodinný dům

3.3. Ohřev TUV pomocí zásobníků s integrovaným tepelným čerpadlem

Toto zařízení pracuje jako samostatné. Ohřívač vody s integrovaným tepelným čerpadlem nasává vnitřní vzduch v domě, odebírá z něj tepelnou energii potřebnou k ohřevu teplé vody a vyfukuje ochlazený vzduch (přibližně o 3 – 5 °C). Tento zásobník je izolován polyuretanovou vrstvou pro maximální uchování tepla. Vlastní tepelné čerpadlo je umístěné v horní části zařízení. Při provozu tepelného čerpadla dosahuje teplota vody až 60 °C připravené pro Vaši potřebu. Dále je toto zařízení možné napojit na solární systém.

C. Popis zařízení

Typ N-SDWHP-150-3.6, N-SDWHP-190-3.6, N-SDWHP-260-3.6:



Poznámka:

Výše uvedený obrázek je informativní, některé detaily se mohou u konkrétního typu lišit.

Obr. č. 3.3: Ohřívač vody Sunline

4. Obecný popis objektu

4.1. Popis území

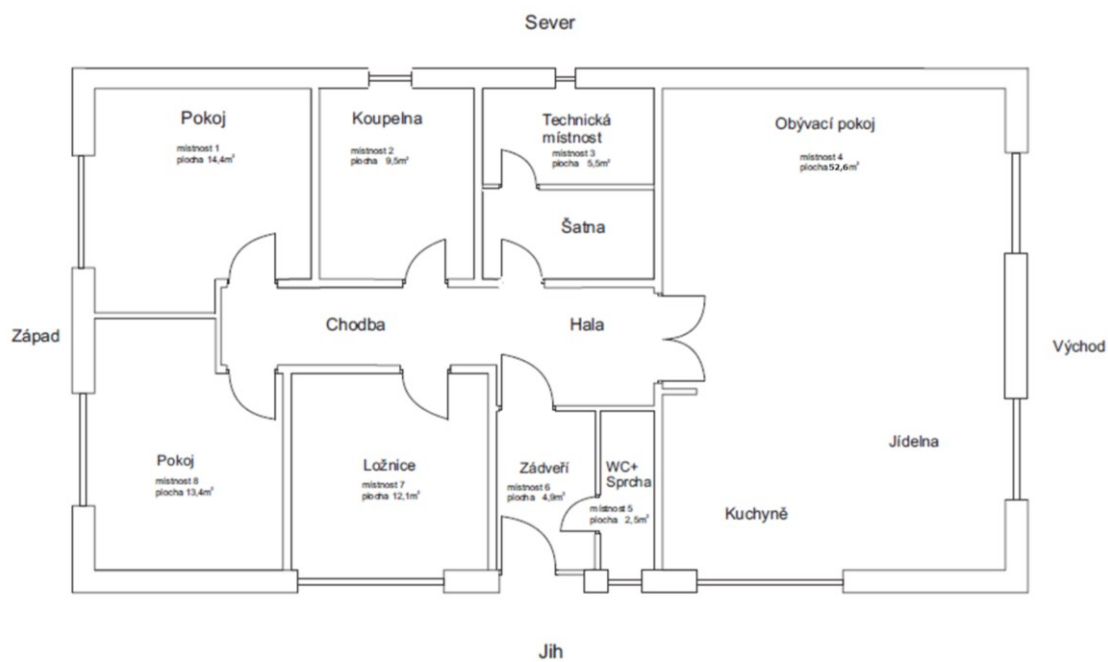
Stavební parcela je o celkové výměře 1 082m². Nachází se v katastrální území Frýdek Místek, v obci Metylovice. Parcela je situována na rovném pozemku, v 453 m.n.m.

4.2. Popis objektu

Výpočet je stanoven pro novostavbu rodinného domu, dům je určený k celoročnímu obývání. Jde o jednopodlažní stavbu, bez podsklepení, o celkové obytné ploše 158 m². Dům je postaven z tepelněizolačních tvárnic značky Ytong, zateplen není. Okna jsou plastová pětikomorová značky Veka. Dveře jsou zhotoveny z PVC profilů, značky Veka. Stropy jsou zhotoveny z konstrukčního systému značky Ytong, o rozměrech 599 x 249 x 200 mm.



Obr.č.4.1: Vizualizace domu



Obr.č. 4.2: Půdorys domu

5. Výpočet tepelných ztrát

5.1. Výpočet tepelných ztrát objektu, potřeby tepla na vytápění a průměrného součinitele prostupu tepla

dle ČSN EN 12831, ČSN 730540 a STN 730540

Výpočet proběhl v programu Stavební fyzika 2010 - Svoboda Software

Návrhová (výpočtová) venkovní teplota T_e :	-15,0 °C
Průměrná roční teplota venkovního vzduchu $T_{e,m}$:	8,3 °C
Činitel ročního kolísání venkovní teploty fgl :	1,45
Průměrná vnitřní teplota v objektu $T_{i,m}$:	20,0 °C

Půdorysná plocha podlahy objektu A :	158,0 m ²
Exponovaný obvod objektu P :	52,7 m
Obestavěný prostor vytápěných částí budovy V :	442,4 m ³

Účinnost zpětného získávání tepla ze vzduchu :	0,0 %
--	-------

Typ objektu : bytový

REKAPITULACE ZADÁNÍ A TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTI

Číslo podlaží : 1 Název podlaží : 1NP

Číslo místnosti : 8 Název místnosti : Pokoj

Půd. plocha A :	13,4 m ²	Objem vzduchu V :	37,5 m ³
Exp. obvod P :	7,8 m	Počet na podlaží :	1

Teplota T_i :	20,0 °C	Typ vytápění :	převažující přirozená konvekce
-----------------	---------	----------------	--------------------------------

Vytápění :	nepřerušované	Trvalý tepelný zisk $F_{i,z}$:	0 W
------------	---------------	---------------------------------	-----

Typ větrání :	přirozené	Min. hyg. výměna :	0,5 1/h
Výměna n_{50} :	1,0 1/h	Činitel $e + \epsilon$:	0,00 + 1,00

Název konstrukce	Plocha	U	Korekce	DeltaU	Ueq	H,T
stěna jih	9,4	0,22	e = 1,00	0,00	-----	2,06 W/K
stěna západ	9,5	0,22	e = 1,00	0,00	-----	2,10 W/K
okno	3,0	1,20	e = 1,15	0,50	-----	5,86 W/K
strop	13,4	0,16	e = 1,00	0,00	-----	2,14 W/K
podlaha	13,4	0,30	Gw= 1,00	-----	0,20	1,30 W/K

Zvýšení výkonu kvůli přerušení vytápění $F_{i,RH}$: 0 W

Násobnost výměny vzduchu n : 0,50 1/h

Ztráta prostupem $F_{i,T}$: 472 W, tj. 13,4 % z celkové ztráty prostupem objektu

Ztráta větráním $F_{i,V}$: 223 W, tj. 11,7 % z celkové ztráty větráním objektu

Ztráta celková $F_{i,HL}$: 695 W, tj. 12,8 % z celkové ztráty objektu

REKAPITULACE ZADÁNÍ A TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTI

Číslo podlaží : 1

Název podlaží : 1NP

Číslo místnosti : 7

Název místnosti : Ložnice

Půd. plocha A : 12,1 m²

Objem vzduchu V : 33,9 m³

Exp. obvod P : 3,5 m

Počet na podlaží : 1

Teplota T_i : 20,0 °C

Typ vytápění : převažující přirozená konvekce

Vytápění : nepřerušované

Trvalý tepelný zisk $F_{i,z}$: 0 W

Typ větrání : přirozené

Min. hyg. výměna : 0.5 1/h

Výměna n50 : 1,0 1/h

Činitel e + epsilon : 0,00 + 1,00

Název konstrukce	Plocha	U	Korekce	DeltaU	Ueq	H,T
stěna jih	6,7	0,22	e = 1,00	0,00	-----	1,47 W/K
okno	3,1	1,20	e = 1,15	0,50	-----	6,10 W/K
strop	12,1	0,16	e = 1,00	0,00	-----	1,94 W/K
podlaha	12,1	0,30	Gw= 1,00	-----	0,20	1,17 W/K

Zvýšení výkonu kvůli přerušení vytápění $F_{i,RH}$: 0 W

Násobnost výměny vzduchu n : 0,50 1/h

Ztráta prostupem $F_{i,T}$: 374 W, tj. 10,6 % z celkové ztráty prostupem objektu

Ztráta větráním $F_{i,V}$: 202 W, tj. 10,5 % z celkové ztráty větráním objektu

Ztráta celková $F_{i,HL}$: 575 W, tj. 10,6 % z celkové ztráty objektu

REKAPITULACE ZADÁNÍ A TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTI

Číslo podlaží : 1

Název podlaží : 1NP

Číslo místnosti : 6

Název místnosti : zádveří

Pūd. plocha A : 4,9 m²

Objem vzduchu V : 13,7 m³

Exp. obvod P : 1,8 m

Počet na podlaží : 1

Teplota T_i : 20,0 °C

Typ vytápění : převažující přirozená konvekce

Vytápění : nepřerušované

Trvalý tepelný zisk $F_{i,z}$: 0 W

Typ větrání : přirozené

Min. hyg. výměna : 0,5 1/h

Výměna n50 : 1,0 1/h

Činitelé e + epsilon : 0,00 + 1,00

Název konstrukce	Plocha	U	Korekce	DeltaU	Ueq	H,T
stěna jih	1,4	0,22	e = 1,00	0,00	-----	0,30 W/K
okno	3,5	1,20	e = 1,15	0,50	-----	6,92 W/K
strop	4,9	0,16	e = 1,00	0,00	-----	0,78 W/K
podlaha	4,9	0,30	Gw= 1,00	-----	0,20	0,26 W/K

Zvýšení výkonu kvůli přerušení vytápění $F_{i,RH}$: 0 W

Násobnost výměny vzduchu n : 0,50 1/h

Ztráta prostupem $F_{i,T}$: 289 W, tj. 8,2 % z celkové ztráty prostupem objektu

Ztráta větráním $F_{i,V}$: 82 W, tj. 4,3 % z celkové ztráty větráním objektu

Ztráta celková $F_{i,HL}$: 371 W, tj. 6,8 % z celkové ztráty objektu

REKAPITULACE ZADÁNÍ A TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTI

Číslo podlaží : 1

Název podlaží : 1NP

Číslo místnosti : 5

Název místnosti : Sprcha

Pūd. plocha A : 2,5 m²

Objem vzduchu V : 7,0 m³

Exp. obvod P : 0,9 m

Počet na podlaží : 1

Teplota T_i : 20,0 °C

Typ vytápění : převažující přirozená konvekce

Vytápění : nepřerušované Trvalý tepelný zisk $F_{i,z}$: 0 W

Typ větrání : přirozené Min. hyg. výměna : 0,5 1/h

Výměna n50 : 1,0 1/h Činitelé e + epsilon : 0,00 + 1,00

Název konstrukce	Plocha	U	Korekce	DeltaU	Ueq	H,T
stěna jih	1,9	0,22	e = 1,00	0,00	-----	0,43 W/K
okno	0,7	1,20	e = 1,15	0,50	-----	1,41 W/K
strop	2,6	0,16	e = 1,00	0,00	-----	0,42 W/K
podlaha	2.5	0,30	Gw= 1,00	-----	0,20	0,24 W/K

Zvýšení výkonu kvůli přerušení vytápění $F_{i,RH}$: 0 W

Násobnost výměny vzduchu n : 0,50 1/h

Ztráta prostupem $F_{i,T}$: 87 W, tj. 2,5 % z celkové ztráty prostupem objektu

Ztráta větráním $F_{i,V}$: 42 W, tj. 2,2 % z celkové ztráty větráním objektu

Ztráta celková $F_{i,HL}$: 129 W, tj. 2,4 % z celkové ztráty objektu

REKAPITULACE ZADÁNÍ A TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTI

Číslo podlaží : 1 Název podlaží : 1NP

Číslo místnosti : 4 Název místnosti : obývací pok

Půd. plocha A : 59,1 m² Objem vzduchu V : 147,3 m³

Exp. obvod P : 21,1 m Počet na podlaží : 1

Teplota T_i : 20,0 °C Typ vytápění : převažující přirozená konvekce

Vytápění : nepřerušované Trvalý tepelný zisk $F_{i,z}$: 0 W

Typ větrání : přirozené Min. hyg. výměna : 0,5 1/h

Výměna n50 : 1,0 1/h Činitelé e + epsilon : 0,00 + 1,00

Název konstrukce	Plocha	U	Korekce	DeltaU	Ueq	H,T
stěna Sever	17,1	0,22	e = 1,00	0,00	-----	3,76 W/K
stěna východ	15,4	0,22	e = 1,00	0,00	-----	3,38 W/K
okno	8,5	1,20	e = 1,15	0,30	-----	14,66 W/K
stěna jih	17,1	0,22	e = 1,00	0,00	-----	3,76 W/K
okno	3,1	1,20	e = 1,15	0,30	-----	5,38 W/K
strop	52,6	0,16	e = 1,00	0,00	-----	8,42 W/K
podlaha	52,6	0,30	Gw= 1,00	-----	0,20	5,10 W/K

Zvýšení výkonu kvůli přerušení vytápění $F_{i,RH}$: 0 W

Násobnost výměny vzduchu n : 0,50 1/h

Ztráta prostupem $F_{i,T}$: 1556 W, tj. 44,2 % z celkové ztráty prostupem objektu

Ztráta větráním $F_{i,V}$: 876 W, tj. 45,9 % z celkové ztráty větráním objektu

Ztráta celková $F_{i,HL}$: 2433 W, tj. 44,8 % z celkové ztráty objektu

REKAPITULACE ZADÁNÍ A TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTI

Číslo podlaží : 1

Název podlaží : 1NP

Číslo místnosti : 3

Název místnosti : Technická m.

Pūd. plocha A : 5,2 m²

Objem vzduchu V : 14,8 m³

Exp. obvod P : 3,0 m

Počet na podlaží : 1

Teplota T_i : 20,0 °C

Typ vytápění : převažující přirozená konvekce

Vytápění : nepřerušované

Trvalý tepelný zisk $F_{i,z}$: 0 W

Typ větrání : přirozené

Min. hyg. výměna : 0,5 1/h

Výměna n_{50} : 1,0 1/h

Činitel $e + \epsilon$: 0,00 + 1,00

Název konstrukce	Plocha	U	Korekce	DeltaU	Ueq	H,T
Stěna Sever	8,5	0,22	$e = 1,00$	0,00	-----	1,88 W/K
strop	5,2	0,16	$e = 1,00$	0,00	-----	0,83 W/K
podlaha	5,2	0,30	$G_w = 1,00$	-----	0,20	0,50 W/K

Zvýšení výkonu kvůli přerušení vytápění $F_{i,RH}$: 0 W

Násobnost výměny vzduchu n : 0,50 1/h

Ztráta prostupem $F_{i,T}$: 113 W, tj. 3,2 % z celkové ztráty prostupem objektu

Ztráta větráním $F_{i,V}$: 88 W, tj. 4,6 % z celkové ztráty větráním objektu

Ztráta celková $F_{i,HL}$: 201 W, tj. 3,7 % z celkové ztráty objektu

REKAPITULACE ZADÁNÍ A TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTI

Číslo podlaží : 1

Název podlaží : 1NP

Číslo místnosti : 2

Název místnosti : koupelna

Pūd. plocha A : 9,5 m²

Objem vzduchu V : 26,6 m³

Exp. obvod P : 2,8 m

Počet na podlaží : 1

Teplota T_i : 20,0 °C Typ vytápění : převažující přirozená konvekce
 Vytápění : nepřerušované Trvalý tepelný zisk $F_{i,z}$: 0 W
 Typ větrání : přirozené Min. hyg. výměna : 0,5 1/h
 Výměna n_{50} : 1,0 1/h Činitel $e + \epsilon$: 0,00 + 1,00

Název konstrukce	Plocha	U	Korekce	DeltaU	Ueq	H,T
stěna Sever	10,0	0,22	$e = 1,00$	0,00	-----	2,20 W/K
okno	0,5	0,12	$e = 1,15$	0,00	-----	0,07 W/K
strop	9,5	0,16	$e = 1,00$	0,00	-----	1,52 W/K
podlaha	9,5	0,30	$G_w = 1,00$	-----	0,20	0,92 W/K

Zvýšení výkonu kvůli přerušení vytápění $F_{i,RH}$: 0 W

Násobnost výměny vzduchu n : 0,50 1/h

Ztráta prostupem $F_{i,T}$: 165 W, tj. 4,7 % z celkové ztráty prostupem objektu

Ztráta větráním $F_{i,V}$: 158 W, tj. 8,3 % z celkové ztráty větráním objektu

Ztráta celková $F_{i,HL}$: 323 W, tj. 6,0 % z celkové ztráty objektu

REKAPITULACE ZADÁNÍ A TEPELNÉ ZTRÁTY MÍSTNOSTI

Číslo podlaží : 1 Název podlaží : 1NP
 Číslo místnosti : 1 Název místnosti : pokoj

Půd. plocha A : 14,4 m² Objem vzduchu V : 40,3 m³
 Exp. obvod P : 7,6 m Počet na podlaží : 1

Teplota T_i : 20,0 °C Typ vytápění : převažující přirozená konvekce
 Vytápění : nepřerušované Trvalý tepelný zisk $F_{i,z}$: 0 W
 Typ větrání : přirozené Min. hyg. výměna : 0,5 1/h
 Výměna n_{50} : 1,0 1/h Činitel $e + \epsilon$: 0,00 + 1,00

Název konstrukce	Plocha	U	Korekce	DeltaU	Ueq	H,T
stěna sever	10,0	0,22	$e = 1,00$	0,00	-----	2,20 W/K
stěna západ	8,2	0,22	$e = 1,00$	0,00	-----	1,80 W/K
okno	3,0	1,20	$e = 1,15$	0,40	-----	5,52 W/K
strop	14,4	0,16	$e = 1,00$	0,00	-----	2,30 W/K
podlaha	14,4	0,30	$G_w = 1,00$	-----	0,20	1,40 W/K

Zvýšení výkonu kvůli přerušení vytápění $F_{i,RH}$: 0 W

Násobnost výměny vzduchu n : 0,50 1/h

Ztráta prostupem $F_{i,T}$: 463 W, tj.13,2 % z celkové ztráty prostupem objektu

Ztráta větráním $F_{i,V}$: 240 W, tj.12,6 % z celkové ztráty větráním objektu

Ztráta celková $F_{i,HL}$: 703 W, tj.12,9 % z celkové ztráty objektu

TEPELNÉ ZTRÁTY PODLAŽÍ č. 1

Ztráta prostupem $F_{i,T}$: 3518 W, tj. 100,0 % z celkové ztráty prostupem objektu

Ztráta větráním $F_{i,V}$: 1911 W, tj. 100,0 % z celkové ztráty větráním objektu

Ztráta celková $F_{i,HL}$: 5429 W, tj. 100,0 % z celkové ztráty objektu

ZÁVĚREČNÁ PŘEHLEDNÁ TABULKA VŠECH MÍSTNOSTÍ:

Návrhová (výpočtová) venkovní teplota T_e : -15,0 °C

Označ. p./č.m.	Název místnosti	Tep- lota	Vytápěná plocha	Objem vzduchu	Celk. ztráta	% z celk.	Podíl $F_{iHL}/(T_i - T_e)$
		T_i	$A_f [m^2]$	$V [m^3]$	$F_{iHL} [W]$	F_{iHL}	$[W/K]$
1/ 8	Pokoj	20,0	13,4	37,5	695	12,8%	19,85
1/ 7	Ložnice	20,0	12,1	33,9	575	10,6%	16,44
1/ 6	zádveří	20,0	4,9	13,7	371	6,8%	10,59
1/ 5	Sprcha	20,0	2,5	7,0	129	2,4%	3,69
1/ 4	obývací pok	20,0	59,1	147,3	2433	44,8%	69,50
1/ 3	Technická m	20,0	5,2	14,8	201	3,7%	5,74
1/ 2	koupelna	20,0	9,5	26,6	323	6,0%	9,23
1/ 1	pokoj	20,0	14,4	40,3	703	12,9%	20,07
Součet:			121,1	321,2	5429	100,0%	155,12

CELKOVÉ TEPELNÉ ZTRÁTY OBJEKTU

Součet tep.ztrát (tep.výkon) $F_{i,HL}$ 5,429 kW 100,0 %

Součet tep. ztrát prostupem $F_{i,T}$ 3,518 kW 64,8 %

Součet tep. ztrát větráním $F_{i,V}$ 1,911 kW 35,2 %

Tep. ztráta prostupem:

			Plocha:	Fi,T/m²:
stěna jih	0,281 kW	5,2 %	36,4 m ²	7,7 W/m ²
stěna západ	0,073 kW	1,4 %	9,5 m ²	7,7 W/m ²
okno	1,065 kW	19,6 %	22,5 m ²	47,3 W/m ²
strop	0,643 kW	11,8 %	114,7 m ²	5,6 W/m ²
podlaha	0,382 kW	7,0 %	112,3 m ²	3,4 W/m ²
stěna Sever	0,351 kW	6,5 %	45,6 m ²	7,7 W/m ²
stěna východ	0,118 kW	2,2 %	15,4 m ²	7,7 W/m ²
stěna západ	0,063 kW	1,2 %	8,2 m ²	7,7 W/m ²
Okno	0,145 kW	2,7 %	3,0 m ²	48,3 W/m ²
Tepelné vazby	0,398 kW	7,3 %	---	---

PARAMETRY BUDOVY PODLE STARŠÍCH PŘEDPISŮ:

Celková tepelná charakteristika budovy - ČSN 730540 (1994): $q_c = 0,35 \text{ W/m}^3\text{K}$

Spotřeba energie na vytápění - STN 730540, Zmena 5 (1997): $E_1 = 25,77 \text{ kWh/m}^3, \text{rok}$

PRŮMĚRNÝ SOUČINITEL PROSTUPU TEPLA BUDOVY:

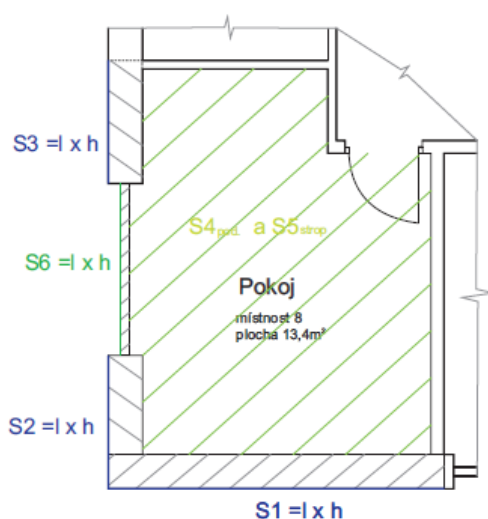
Celk.souč.tep.ztráty (ustálený měrný tep.tok) prostupem H,T: 112,1 W/K

Plocha obalových konstrukcí budovy A: 367,7 m²

Limit odvozený z U_{req} dílčích konstrukcí. $U_{em,lim}$: 0,41 W/m²K

Průměrný součinitel prostupu tepla obálky budovy U_{em} 0,30 W/m²K

5.2. Vzorový výpočet tepelné ztráty místnosti



Obr. č. 5.1 – místnost č. 8 - pokoj

h - vzdálenost od podlahy ke stropu [m]

S - plocha místnosti [m^2]

V - objem místnosti [m^3]

$$S1 = (3,35 + 0,375 + 0,15) \cdot 2,8 = 10,85 \text{ m}^2$$

$$S2 = 1,15 \cdot 2,8 = 3,22 \text{ m}^2$$

$$S3 = (1,33 + 0,15) \cdot 2,8 = 4,14 \text{ m}^2$$

$$S4_{\text{podlaha}} = (3,35 \cdot 4,48) - (1,2 \cdot 0,98) = 13,4 \text{ m}^2$$

$$S5_{\text{strop}} = 13,4 \text{ m}^2$$

$$S6_{\text{okno}} = 2,1 \cdot 1,5 = 3 \text{ m}^2$$

$S1; S2; S3$ – součinitel prostupu tepla $U = 0,22 \text{ W/m}^2\text{K}$

$S6_{\text{okno}}$ - součinitel prostupu tepla celého okna $U_{\text{okno}} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

$S5_{\text{strop}}$ - součinitel prostupu tepla $U_{\text{strop}} = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$

$S4_{\text{podlaha}}$ - součinitel prostupu tepla $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$

$$Q = U.S.(t_i - t_e) \quad [\text{W}]$$

$$Q_{S1} = 0,22.10,85.(20 + 15) = 83,55W$$

$$Q_{S2} = 0,22.3,22.(20 + 15) = 24,79W$$

$$Q_{S3} = 0,22.4,14.(20 + 15) = 31,91W$$

$$Q_{S4} = 0,3.13,4.(20 - 5) = 60,3W$$

$$Q_{S5} = 0,16.13,4.(20 + 15) = 75,04W$$

$$Q_{S6} = 1,2.3.(20 + 15) = 126W$$

$$Q_{celková} = \sum Q_{S1} + Q_{S2} + Q_{Sn} = 401,59W$$

Výsledek se liší o 15% oproti výpočtu v programu Svoboda 2010, což je přístupné vzhledem k tomu, že nebylo počítáno s tepelnými ztrátami mostů.

Tepelná ztráta větráním

$$Q = \frac{V}{3600} \cdot \rho \cdot c \cdot (t_i - t_e) = \frac{18,76}{3600} \cdot 1,2 \cdot 1010 \cdot (20 + 15) = 221,1W$$

Kde je V počítáno s polovinou výměny vzduchu oproti objemu místnosti [m³]

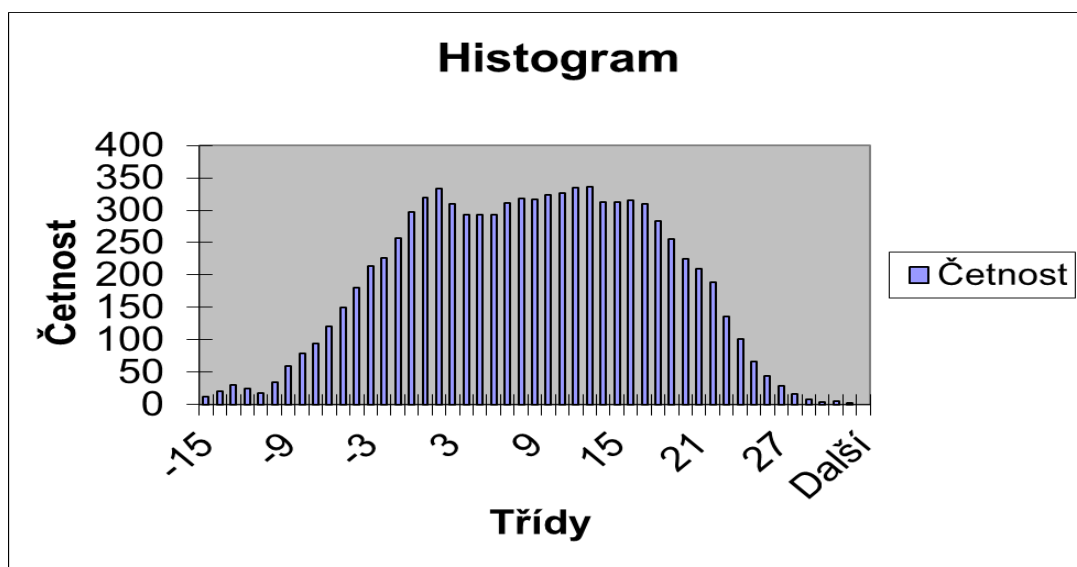
Q - ztráta prostupem [W]

ρ - hustota vzduchu při 20°C [kg/m³]

c – měrná tepelná kapacity vzduchu při 20°C [J/kgK]

c	<i>Třídy</i>	<i>Četnost</i>
-15	-15	12
-14	-14	21
-13	-13	30
-12	-12	24,5
-11	-11	18
-10	-10	35
-9	-9	59,5
-8	-8	79
-7	-7	94,5
-6	-6	121
-5	-5	150
-4	-4	180
-3	-3	213,5
-2	-2	226
-1	-1	256,5
0	0	297
1	1	320
2	2	334
3	3	309,5
4	4	292,5
5	5	293
6	6	292,5
7	7	310,5
8	8	318,5
9	9	317
10	10	323
11	11	327
12	12	334,5
13	13	336,5
14	14	313
15	15	312,5
16	16	315,5
17	17	310
18	18	284
19	19	256
20	20	224,5
21	21	209
22	22	189
23	23	136,5
24	24	101,5
25	25	66
26	26	44
27	27	29,5
28	28	17
29	29	7,5
30	30	4,5
31	31	5,5
32	32	3
	Další	0
		8754,5

Tabulka č. 1 denostupně zdroj: Český hydrometeorologický ústav



Obr.č.5.2: Grafické znázornění denostupňů dle tabulky č. 1

6. Technický popis tepelného čerpadla

Pro svou práci jsem vybral invertorové tepelné čerpadlo vzduch-voda značky Neoré, jmenovitého výkonu při A7/35 je 5 kW. Základem je vnitřní hydromodul a venkovní jednotka značky Fujitsu General.

6.1. Vnitřní jednotka

Vnitřní hydromodul je tvořen deskovým výměníkem, bivalentním zdrojem (elektrokotlem o výkonu 3x2 kW), regulací, kalorimetrem, obsluhou bazénu, čidly a dalšími jistícími prvky. Součástí je také nerezový zásobník TUV o objemu 200 l.

6.2. Venkovní jednotka

Srdcem venkovní jednotky je scroll kompresor. Přesné řízení okruhu chladiva zajišťuje elektronický expanzní ventil s mikrometrickým šroubem, poháněným krokovým servomotorem. Výkon vzduchového výměníku je řízen elektronicky ovládanými otáčkami ventilátoru. Řídící elektronická deska s výkonným RISC procesorem optimalizuje chod systému v celém rozsahu venkovních teplot a odebíraných výkonů.



Obr.č. 6.1: Vnitřní a venkovní jednotka Neoré MTX 5

6.3. Technické parametry tepelného čerpadla Neoré MTX 5

+7°C/+35°C podlahové vytápění	Tepelný výkon	kW	5
	Příkon		1,22
	COP**		4,1
+2°C/+35°C podlahové vytápění	Tepelný výkon	kW	4,06
	Příkon		1,23
	COP**		3,3
-7°C/+35°C podlahové vytápění	Tepelný výkon	kW	3,46
	Příkon		1,31
	COP**		2,65
+7°C/+45°C radiátory	Tepelný výkon	kW	5,67
	Příkon		1,7
	COP**		3,33
-7°C/+45°C radiátory	Tepelný výkon	kW	3,15
	Příkon		1,56
	COP**		2,02
Záložní zdroj tepla	Výkon	kW	6,0 (3x2kW)
Zdroj	230V, 50 Hz		
Proud	Max.	A	12,5
Hluk vnitřní jednotky		dB(A)	42 dB/ 1 m
Rozměry vnitřní jednotky	v x š x h	cm	211 x 63 x 633
Ohřívač vody s trubkovým výměníkem nerez	Objem	l	200
	Průměr	mm	595
	Výška	mm	1370
	Plocha výměníku	m ²	2,14
	Trvalý výkon*1	kW	62
	Průtok topné vody	m ³ /hod.	1,85
Kondenzační výměník	Deskový nerezový –pájený		
Motor ventilátoru	DC- proměnné otáčky		
Rozměry venkovní jednotky	V x š x h	cm	58 x 79 x 30
Chladivo	R410A		
Množství chladiva		kg	1,35
Propojovací potrubí	Průměr	mm	6/12
	Délka min./max.	m	5/15
Provozní rozsah		°C	-15 až 24
Kompresor	DC invertor		
Regulace chladivového okruhu	Elektronický expanzní ventil		
Tlaková ztráta topné vody	(vnitřní jednotka)		105 hPa
Max. výška vodního sloupce	18 m		
Max. pracovní přetlak	0,18 mPa		
Výparník	Al-Cu svislý		
Průtok vzduchu		m ³ /hod.	600 – 2 500
Odtávání	Horkým plynem přes reverzní ventil		
Připojení topného okruhu	G1“		
Meze pro relativní vlhkost	15-95 %		

*1: Trvalý výkon TUV při vstupu topné vody 80°C a průtoku 1180 l/hod. při ohřevu vody z 10°C na 55°C

** Veškeré hodnoty jsou naměřeny podle normy ČSN14511(měřeno včetně odtávání, je započtena spotřeba kompletní technologie čerpadla).

6.4. Podrobné technické parametry tepelného čerpadla Neoré MTX

Všecké hodnoty jsou naměřeny podle normy ČSN14511 (měřeno včetně odtávání, je započtena spotřeba kompletní technologie čerpadla).

7/35°C	COP	4,1
	Výkon kW	5
	Příkon kW	1,22
7/45°C	COP	3,33
	Výkon kW	5,67
	Příkon kW	1,7
7/55°C	COP	2,47
	Výkon kW	5,18
	Příkon kW	2,09
2/35°C	COP	3,3
	Výkon kW	4,06
	Příkon kW	1,23
2/45°C	COP	2,59
	Výkon kW	3,98
	Příkon kW	1,54
2/55°C	COP	2,4
	Výkon kW	3,8
	Příkon kW	1,58
-7/35°C	COP	2,65
	Výkon kW	3,46
	Příkon kW	1,31
-7/45°C	COP	2,02
	Výkon kW	3,15
	Příkon kW	1,56
-7/55°C	COP	1,6
	Výkon kW	3,1
	Příkon kW	1,94
-15/35°C	COP	1,71
	Výkon kW	2,08
	Příkon kW	1,22
-15/45°C	COP	1,28
	Výkon kW	1,81
	Příkon kW	1,41
-15/55°C	COP	-
	Výkon kW	-
	Příkon kW	-

	tmax	45					
	m	0,13	kg/s	465,34	kg/h		
te	t1	t2	Qt W	dt		Qkont	
-15	45	35	5429	10		5429	
-14	44,29	34,57	5273,89	9,71		5273,89	
-13	43,57	34,14	5118,77	9,43		5118,77	
-12	42,86	33,71	4963,66	9,14		4963,66	
-11	42,14	33,29	4808,54	8,86		4808,54	
-10	41,43	32,86	4653,43	8,57		4653,43	
-9	40,71	32,43	4498,31	8,29		4498,31	
-8	40,00	32,00	4343,20	8,00		4343,20	
-7	39,29	31,57	4188,09	7,71		4188,09	
-6	38,57	31,14	4032,97	7,43		4032,97	
-5	37,86	30,71	3877,86	7,14		3877,86	
-4	37,14	30,29	3722,74	6,86		3722,74	
-3	36,43	29,86	3567,63	6,57		3567,63	
-2	35,71	29,43	3412,51	6,29		3412,51	
-1	35,00	29,00	3257,40	6,00		3257,40	
0	34,29	28,57	3102,29	5,71		3102,29	
1	33,57	28,14	2947,17	5,43		2947,17	
2	32,86	27,71	2792,06	5,14		2792,06	
3	32,14	27,29	2636,94	4,86		2636,94	
4	31,43	26,86	2481,83	4,57		2481,83	
5	30,71	26,43	2326,71	4,29		2326,71	
6	30,00	26,00	2171,60	4,00		2171,60	
7	29,29	25,57	2016,49	3,71		2016,49	
8	28,57	25,14	1861,37	3,43		1861,37	
9	27,86	24,71	1706,26	3,14		1706,26	
10	27,14	24,29	1551,14	2,86		1551,14	
11	26,43	23,86	1396,03	2,57		1396,03	
12	25,71	23,43	1240,91	2,29		1240,91	
13	25,00	23,00	1085,80	2,00		1085,80	
14	24,29	22,57	930,69	1,71		930,69	
15	23,57	22,14	775,57	1,43		775,57	
16	22,86	21,71	620,46	1,14		620,46	
17	22,14	21,29	465,34	0,86		465,34	
18	21,43	20,86	310,23	0,57		310,23	
19	20,71	20,43	155,11	0,29		155,11	
20	20,00	20,00	0,00	0,00		0,00	

Tabulka č.2.1 – výpočet potřebného tepla pro vytápění Qt

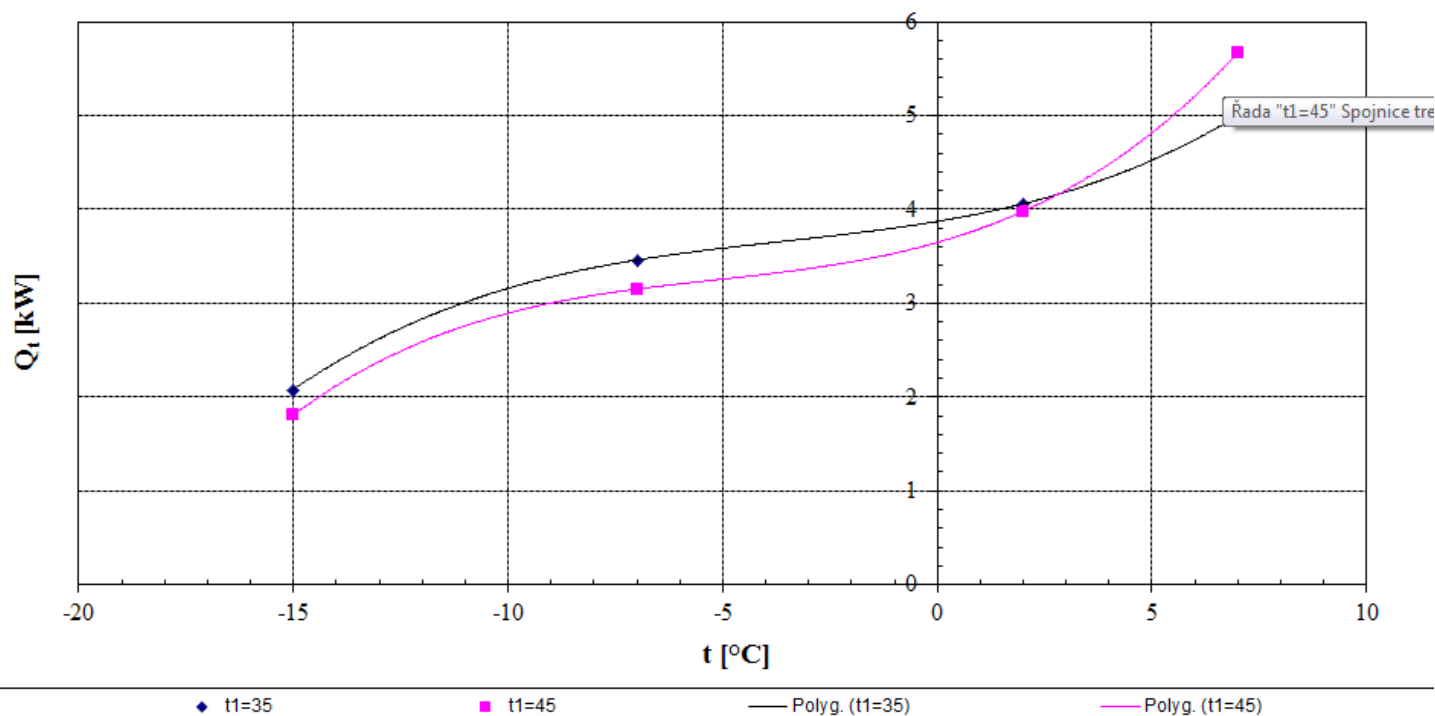
Te	Qt					
	t1=35	t1=45	QtkW	Qtinterpol	Qdotop	QTC
-15,00	2,08	1,81	5,43	1,81	3,62	1,81
-14,00	2,37	2,12	5,27	2,14	3,14	2,14
-13,00	2,62	2,38	5,12	2,41	2,71	2,41
-12,00	2,83	2,59	4,96	2,64	2,32	2,64
-11,00	3,01	2,76	4,81	2,83	1,98	2,83
-10,00	3,16	2,89	4,65	2,99	1,67	2,99
-9,00	3,28	3,00	4,50	3,12	1,38	3,12
-8,00	3,38	3,08	4,34	3,23	1,11	3,23
-7,00	3,46	3,15	4,19	3,33	0,86	3,33
-6,00	3,53	3,21	4,03	3,41	0,62	3,41
-5,00	3,59	3,26	3,88	3,49	0,39	3,49
-4,00	3,64	3,31	3,72	3,57	0,16	3,57
-3,00	3,69	3,37	3,57	3,64	-0,08	3,57
-2,00	3,74	3,44	3,41	3,72	-0,31	3,41
-1,00	3,80	3,53	3,26	3,80	-0,54	3,26
0,00	3,87	3,65	3,10	3,89	-0,79	3,10
1,00	3,96	3,80	2,95	3,98	-1,03	2,95
2,00	4,06	3,98	2,79	4,08	-1,29	2,79
3,00	4,19	4,21	2,64	4,18	-1,54	2,64
4,00	4,34	4,48	2,48	4,29	-1,81	2,48
5,00	4,52	4,82	2,33	4,40	-2,07	2,33
6,00	4,74	5,21	2,17	4,51	-2,34	2,17
7,00	5,00	5,67	2,02	4,62	-2,60	2,02
8,00	5,30	6,20	1,86	4,72	-2,86	1,86
9,00	5,65	6,82	1,71	4,82	-3,11	1,71
10,00	6,05	7,51	1,55	4,90	-3,35	1,55
11,00	6,50	8,30	1,40	4,96	-3,56	1,40
12,00	7,02	9,19	1,24	5,00	-3,76	1,24
13,00	7,59	10,18	1,09	5,01	-3,93	1,09
14,00	8,24	11,27	0,93	4,99	-4,06	0,93
15,00	8,95	12,49	0,78	4,92	-4,14	0,78
16,00	9,75	13,82	0,62	4,80	-4,18	0,62
17,00	10,62	15,28	0,47	4,62	-4,16	0,47
18,00	11,57	16,87	0,31	4,38	-4,06	0,31
19,00	12,61	18,61	0,16	4,05	-3,90	0,16
20,00	13,75	20,49	0,00	3,64	-3,64	0,00

Tabulka č.2.2 - výpočet potřebného tepla pro vytápění Qt

Průběh měřených veličin $Q_t = f(t_e, t_1 = \text{konst})$

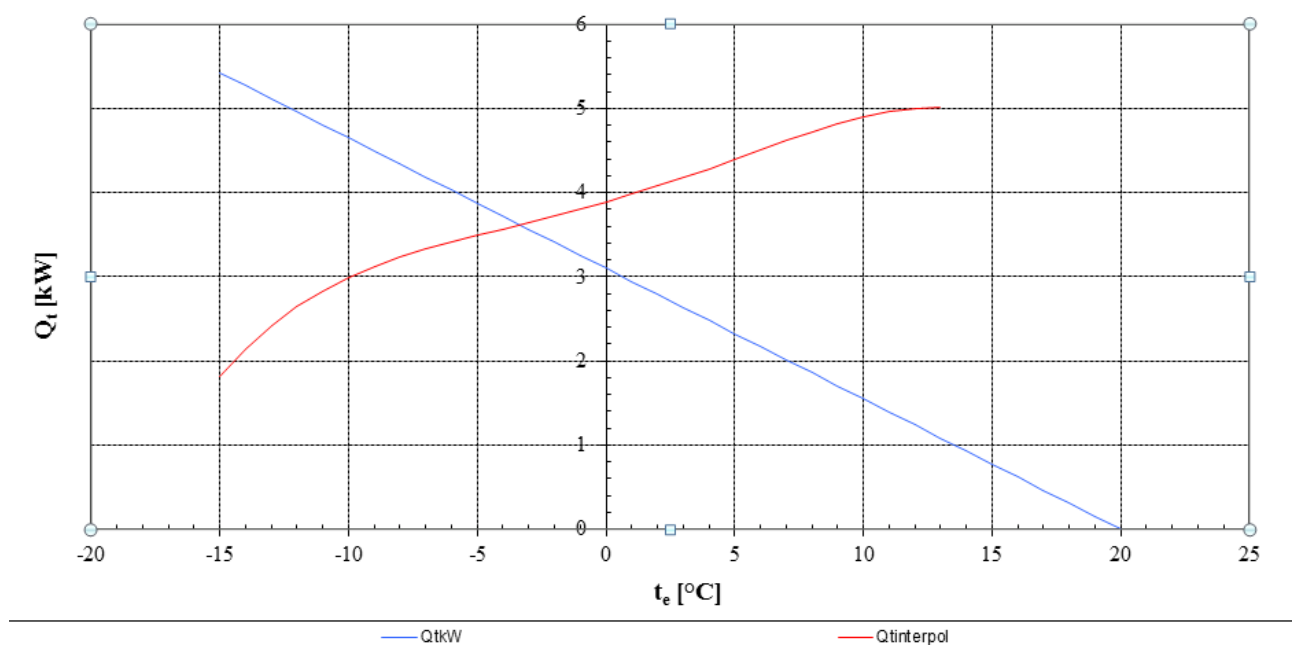
$$y = 0,0009992572786688970x^3 + 0,0155570409982145000x^2 + 0,1310363933452190000x + 3,647704991087400000$$

$$y = 0,000676916221033802x^3 + 0,007312834224598360x^2 + 0,076831105169371900x + 3,871671122994890000$$



Graf. č.1 – průběh veličin Q_t

Průběh měřených veličin - výkonový bivalentní bod



Graf č.2 –výkonový bivalentní bod

6.5. Vzorový výpočet

$$t_1 = 35^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 29^\circ\text{C}$$

$$t_e = -1^\circ\text{C}$$

$$Q_t = 3257,4 \text{ W}$$

Kde	t_1 [$^\circ\text{C}$]	vstupní teplota do okruhu
	t_2 [$^\circ\text{C}$]	výstupní teplota z okruhu
	t_e [$^\circ\text{C}$]	venkovní teplota (exteriér)
	Q_t [W]	tepelné ztráty (při -1°C)

$$\Delta t = t_1 - t_2 = 35 - 29 = 6 \quad [^\circ\text{C}]$$

$$m = \frac{Q_t}{c} \cdot \frac{1}{\Delta t} = \frac{3257,4}{4200} \cdot \frac{1}{6} = 0,129 \text{ kg/s}$$

$$Q_{kontrol.} = m \cdot c \cdot \Delta t = 0,129 \cdot 4200 \cdot 6 = 3250,8 \text{ W} = 3,251 \text{ kW}$$

$Q_{kontrol.}$ – zpětný kontrolní výpočet

Q_t – teplo potřebné pro vytápění je spočítáno pro celý rozsah z regresní křivky třetího řádu z výrobcem měřených veličin $Q_t = f(t_e; t_1 = \text{konst.})$. Pro $t_1 = 35^\circ\text{C}$ a $t_2 = 45^\circ\text{C}$.

$$Q_{t,interpol} = Q_{t(t_1=35^\circ\text{C}; t_e=-1^\circ\text{C})} + \frac{Q_{t(t_1=45^\circ\text{C}; t_e=-1^\circ\text{C})} - Q_{t(t_1=35^\circ\text{C}; t_e=-1^\circ\text{C})}}{\Delta t} \cdot (t_1 - 35)$$

$$Q_{t,interpol} = 3,801 + \frac{3,531 - 3,801}{10} \cdot (35 - 35) = 3,801 \text{ kW}$$

$Q_{t,interpol}$ – interpolační [kW]

$$Q_{dotop.} = Q_t - Q_{t,interpol.} = 3,257 - 3,801 = -0,544 \text{ kW}$$

$Q_{dotop.}$ – teplo potřebné pro elektrický dotop [kW]

Podmínka: když $Q_{dotop.} > 0$ pak platí $Q_{t,interpol.}$ [tab.č.5]

Když $Q_{dotop.} < 0$ pak platí Q_t [tab.č.5]

6.6. COP

Te	COP					
	t1=35	t1=45		COP- interpol		Pel
-15,00	1,71	1,28		1,28		1,41
-14,00	1,89	1,42		1,46		1,47
-13,00	2,05	1,55		1,62		1,49
-12,00	2,19	1,66		1,77		1,49
-11,00	2,31	1,75		1,91		1,48
-10,00	2,41	1,83		2,04		1,47
-9,00	2,50	1,90		2,16		1,45
-8,00	2,58	1,96		2,27		1,42
-7,00	2,65	2,02		2,38		1,40
-6,00	2,71	2,07		2,48		1,37
-5,00	2,77	2,12		2,59		1,35
-4,00	2,83	2,17		2,69		1,33
-3,00	2,89	2,22		2,80		1,27
-2,00	2,96	2,28		2,91		1,17
-1,00	3,03	2,34		3,03		1,08
0,00	3,11	2,41		3,16		0,98
1,00	3,20	2,50		3,30		0,89
2,00	3,30	2,59		3,45		0,81
3,00	3,42	2,70		3,62		0,73
4,00	3,56	2,83		3,82		0,65
5,00	3,71	2,97		4,03		0,58
6,00	3,89	3,14		4,27		0,51
7,00	4,10	3,33		4,54		0,44
8,00	4,33	3,55		4,84		0,38
9,00	4,60	3,79		5,18		0,33
10,00	4,90	4,06		5,55		0,28
11,00	5,23	4,37		5,97		0,23
12,00	5,60	4,71		6,43		0,19
13,00	6,01	5,08		6,94		0,16
14,00	6,46	5,50		7,50		0,12
15,00	6,96	5,95		8,12		0,10
16,00	7,51	6,45		8,79		0,07
17,00	8,10	6,99		9,54		0,05
18,00	8,75	7,58		10,34		0,03
19,00	9,45	8,21		11,23		0,01
20,00	10,21	8,90		12,18		0,00

Tabulka č. 3.1 – výpočet COP

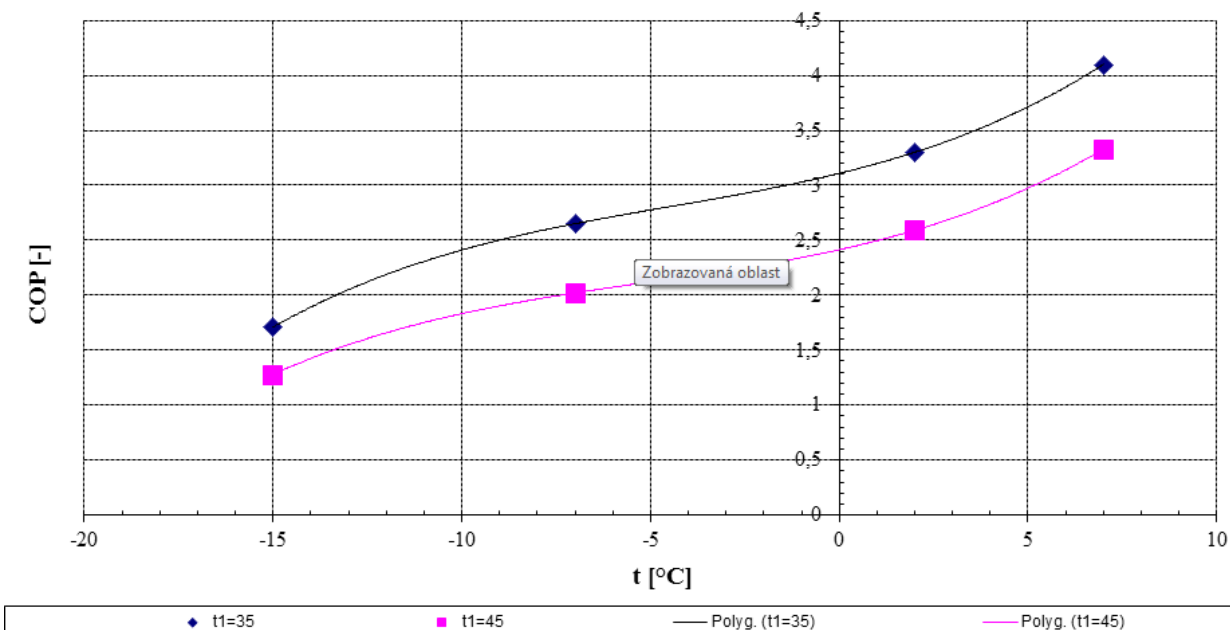
Te	četnost v hod	QtkWh - potřeba	QtTckWh	Qdotop. kWh	AelTC kWh
-15,00	12,00	65,15	21,72	43,43	16,97
-14,00	21,00	110,75	44,91	65,85	30,81
-13,00	30,00	153,56	72,38	81,18	44,66
-12,00	24,50	121,61	64,71	56,90	36,54
-11,00	18,00	86,55	50,95	35,60	26,68
-10,00	35,00	162,87	104,58	58,29	51,30
-9,00	59,50	267,65	185,62	82,03	85,99
-8,00	79,00	343,11	255,25	87,87	112,35
-7,00	94,50	395,77	314,42	81,36	132,11
-6,00	121,00	487,99	412,94	75,05	166,19
-5,00	150,00	581,68	523,75	57,93	202,37
-4,00	180,00	670,09	642,14	27,96	238,53
-3,00	213,50	761,69	761,69		272,15
-2,00	226,00	771,23	771,23		265,00
-1,00	256,50	835,52	835,52		275,85
0,00	297,00	921,38	921,38		291,84
1,00	320,00	943,09	943,09		286,01
2,00	334,00	932,55	932,55		270,14
3,00	309,50	816,13	816,13		225,20
4,00	292,50	725,93	725,93		190,23
5,00	293,00	681,73	681,73		169,14
6,00	292,50	635,19	635,19		148,72
7,00	310,50	626,12	626,12		137,91
8,00	318,50	592,85	592,85		122,47
9,00	317,00	540,88	540,88		104,49
10,00	323,00	501,02	501,02		90,26
11,00	327,00	456,50	456,50		76,51
12,00	334,50	415,09	415,09		64,58
13,00	336,50	365,37	365,37		52,67
14,00	313,00	291,3			
15,00	312,50	242,4			
16,00	315,50	195,8			
17,00	310,00	144,3			
18,00	284,00	88,1			
19,00	256,00	39,7			
20,00	224,50	0			

Tabulka č. 3.2. – výpočet COP

Průběh měřených veličin COP = f(te, t1=konst)

$$y = 0,000406056361938745x^3 + 0,005457728545965550x^2 + 0,083674666836475200x + 3,107571301248020000$$

$$y = 0,0003528775146421910x^3 + 0,0053418640183342500x^2 + 0,0762804303539713000x + 2,4132486631016600000$$



Graf č. 3 průběh veličin COP

Topný faktor je počítán z regresní křivky třetího řádu, kde jednotlivé hodnoty byly převzaty z naměřených bodů hodnot výrobcem.

Topný faktor: $COP=f(t_e; t_l=\text{konstantní})$

$$COP_{interpol} = COP_{(t_1=35^\circ C; t_e=-1^\circ C)} + \frac{COP_{(t_1=45^\circ C; t_e=-1^\circ C)} - COP_{(t_1=35^\circ C; t_e=-1^\circ C)}}{\Delta t} \cdot (t_1 - 35)$$

$$COP_{interpol} = 3,029 + \frac{2,342 - 3,029}{10} \cdot (35 - 35) = 3,029$$

P_{el.} – příkon [kW]

$$P_{el.} = \frac{Q_{tc(t_e=-1^\circ C)}}{COP_{interpol.}} = \frac{3,257}{3,029} = 1,075 kW$$

$Q_{tpotř.}$ – potřebné teplo při teplotě -1°C s danou četností t (hodiny) viz. tabulka č.5.

$$Q_{tpotř. (te=-1^{\circ}\text{C})} = Q_t \cdot t = 3,257.256,5 = 835,421 \text{ kW}$$

Q_{tTC} – dodávka tepla tepelným čerpadlem při určitých $^{\circ}\text{C}$

$$Q_{tTC} = Q_{TC} \cdot t = 3,257.256,5 = 835,421 \text{ kW}$$

$Q_{tTC (celková)}$ – celková dodávka tepla tepelným čerpadlem v celém rozsahu venkovních teplot [kW]

$$Q_{tTC (celková)} = \sum Q_{tTC (-15^{\circ}\text{C})} + Q_{tTC (-14^{\circ}\text{C})} + \dots Q_{tTC (13^{\circ}\text{C})} = 14215,53 \text{ kW}$$

$Q_{dotop.spotř.}$ – potřeba elektrického dotopu [kW]

$$Q_{dotop.spotř.} = Q_{dotop} \cdot t$$

$$Q_{dotop.spotř. (celková)} = \sum Q_{dotop.spotř. (-15^{\circ}\text{C})} + Q_{dotop.spotř. (-14^{\circ}\text{C})} + \dots Q_{dotop.spotř. (-4^{\circ}\text{C})} = 753,44 \text{ kW}$$

$Q_{dotop.spotř. (celková)}$ - celková potřeba tepla pro elektrický dotop [kW]

Vzhledem k tomu, že jsme v záporných číslech u $Q_{dotop.}$, nevzniká nám potřeba elektrického dotopu.

$A_{elektrické}$ - spotřeba elektrické energie [kWh]

$$A_{elektrické} = P_{elektrické} \cdot t = 1,075.256,5 = 275,736 \text{ kWh}$$

6.7. Celková spotřeba za rok

A_{elTC} – celková spotřeba tepelného čerpadla za rok [kWh]

$A_{eldotop}$ - celková spotřeba elektrického dotopu za rok [kWh]

$A_{elcelkem}$ – celková spotřeba elektrické energie za rok [kWh]

$$A_{elTC} = \sum A_{elTC (-15^{\circ}\text{C})} + A_{elTC (-14^{\circ}\text{C})} + \dots A_{elTC (13^{\circ}\text{C})} = 4187,7 \text{ kWh}$$

$$A_{el}dotop = \sum Qdotop_{(-15^{\circ}C)} + Qdotop_{(-14^{\circ}C)} + \dots Qdotop_{(-4^{\circ}C)} = 753,4 kWh$$

$A_{el}dotop$ se rovná přibližně $Qdotop$, protože účinnost elektrootopu je 99,9%.

$$A_{el}celkem = A_{el}TC + A_{el}dotop = 4187,7 + 753,4 = 4941,1 kWh$$

6.8. Potřeba vody a tepla pro přípravu TV

Denní potřeba tepla pro vytápění

$$Q_{TV,d} = \frac{\rho \cdot c \cdot V_{2p} \cdot (t_{TV} - t_{SV})}{3600} = \frac{1000 \cdot 4200 \cdot 0,18 \cdot (45 - 10)}{3600} = 7,31 kWh$$

Kde:

ρ - měrná hmotnost vody (1000 kg/m³)

c - měrná tepelná kapacita vody (4,182 kJ/kg K = 4182 J/kg K)

V_{2p} - celková potřeba TV pro 4 osoby (0,18m³/den);

t_{SV} - teplota studené vody (10°C)

t_{TV} - teplota teplé vody (45°C)

Hodinová potřeba pro vytápění

$$Q_{TV,h} = \frac{Q_{TV,df}}{\tau} = \frac{7,31}{24} = 0,31 kW$$

Kde:

$Q_{TV,h}$ - hodinová potřeba tepla na ohřev TV (kW)

$Q_{TV,d}$ - denní potřeba tepla (kWh), tj. za 24 hodin

τ - perioda, tj. 24 hodin denně (hod)

Potřebný příkon na ohřev TV

$$P_{TV} = \frac{Q_{TV,d}}{\tau} = \frac{7,31}{24} = 0,31 kW$$

Roční potřeba tepla na ohřev TV

$$Q_{TV,r} = Q_{TV,d} \cdot d + 0,8 \cdot Q_{TV,d} \cdot \frac{45 - t_{SVL}}{45 - t_{SVZ}} (N - d) = 0,31 \cdot 250 + 0,8 \cdot 7,31 \cdot \frac{30}{40} \cdot (365 - 220) = 2462,97 kWh / rok$$

Kde:

d - počet dnů otopného období v roce (asi 220 až 250 dní – volím 220)

0,8 - součinitel zohledňující snížení potřeby TV v létě

t_{SVL} - teplota studené vody v létě (15°C)

t_{SVZ} - teplota studené vody v zimě (5 až 10°C)

N - počet pracovních dní soustavy v roce (350 – 365 – volím 365)

Celková spotřeba elektrické energie pro ohřev TV

$$A_{el.TV} = \frac{Q_{TV,r}}{COP_{interpol}} = \frac{2462,97}{3,03} = 812,9 kWh$$

Kde:

$COP_{interpol}$ – topný faktor

[tab.č.4]

7. Návrh otopných těles pro ústřední vytápění

Návrh otopných těles v jednotlivých místnostech byl proveden dle podkladu ze stránky [www. Korado.cz](http://www.Korado.cz)

NÁVRH:

Označ.	Název	Ztráta	Typ	Tw1/Tw2	Umístění
NP/č.m. místnosti		Qc [W]	tělesa	[C]	tělesa
1	zádveří	371	typ 22	45/35	na stěnu
2	ložnice	575	typ 11	45/35	pod okno
3	pokoj	695	typ 21	45/35	pod okno
4	pokoj	703	typ 21	45/35	pod okno
5	koupelna	323	typ 11	45/35	pod okno
6	technická míst.	201	typ 11	45/35	pod okno
7	pokoj	2 433	typ 22	45/35	2x pod okno 1 x na zed'

Výpočet tlakové ztráty

Řešení pro nejvzdálenější topení – pokoj č. 1 zádveří

Q – výkon otopného tělesa [W] viz. www.Korado.cz

$$m_h = \frac{Q}{\Delta t \cdot c} = \frac{482}{10.1,163} = 41,4 \text{ kg/h}$$

C – tepelná kapacita vody [kg/h]

Δ_t - teplotní spád [°C]

Délka rozvodů – trubka měděná 12x1

$$L = (1,5 + 2) \cdot 2 = 7 \text{ m}$$

Počítáno i se zpáteční trasou.

Měrná tlaková ztráta

$$R = 51,667 \quad [\text{Pa/m}]$$

Rychlost proudění

$$W = 0,148 \quad [\text{m/s}]$$

Vřazené odpory tlaková ztráta třením

$$R.L = 51,667 \cdot 7 = 361,6 \text{ Pa}$$

Součet vřazených odporů

$$\sum \xi = 3 + 4 + 1,3 = 8,2$$

Z - tlaková ztráta odporem [Pa]

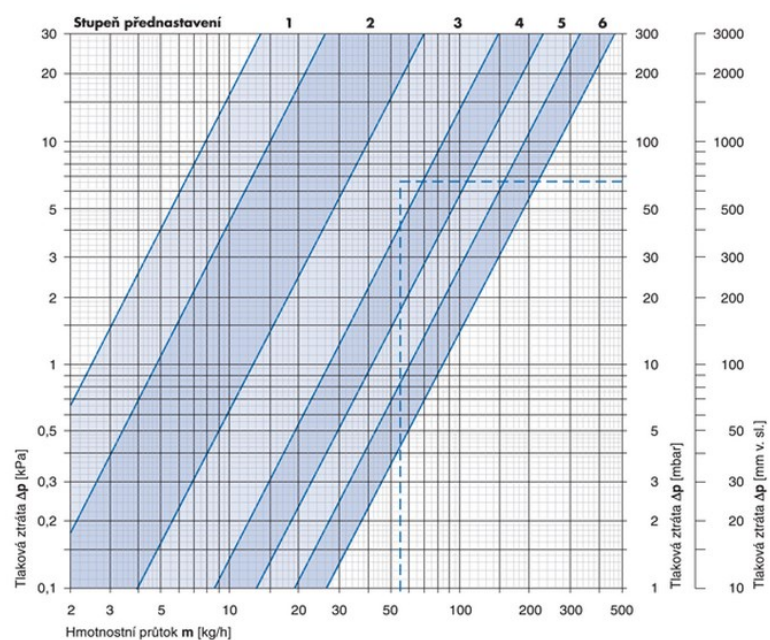
$$z = \Delta p_{\xi} = \sum \xi \cdot \frac{w^2}{2} \cdot \rho = 8,2 \cdot \frac{0,148^2}{2} \cdot 1000 = 89,63 \text{ Pa}$$

Δp_{DIS} - celková ztráta [Pa]

$$\Delta p_{DIS} = R.L + z = 361,6 + 89,63 = 451,23 \text{ Pa}$$

Stupeň přednastavení ventilů na stupeň 5 na topení v nejvzdálenější místnosti (zádveří) a dle obr. č. 7.1 odečtu cca 800 mPa.

$$\text{TRV(S)} = \Delta p_{RV} + \Delta p_{DIS} = 800 + 451,23 = 1251,23 \text{ Pa}$$



Otopná tělesa v provedení Ventil Kompakt bez přípojevacích armatur

Stupeň přednastavení ventilu

1 2 3 4 5 6

Nejvyšší přípustná prov. teplota [°C]

Nejvyšší přípustný prov. tlak [MPa]

Obr.č.7.1: Závislost tlakové ztráty na hmotnostním průtoku

8. Bazén

8.1. Tepelná bilance a určení vhodného zařízení

Pro stanovení vhodného zařízení je nutné určit tepelné ztráty bazénu a provozní náklady jednotlivých zařízení. V této části jsem vypočítal tepelné ztráty bazénu v koupací sezoně od května po září.

8.2. Potřeby tepla pro ohřev vody venkovního bazénu

Parametry bazénu:

Rozměry venkovního bazénu: 7 x 3,5 x 1,5 m (d x š x v)

-plocha hladiny : 20,14 m²

- objem vody v bazénu 31 m³

- provedení: oválný, zapuštěný

Požadovaná teplota vody v bazénu v jednotlivých provozních měsících:

-květen: 22°C

-červen, červenec, srpen : 24°C

-září: 22°C

Teplo potřebné pro ohřívání přiváděné čisté vody by se nejvíce mělo získávat z odváděné teplé vody (jde o využití odpadního tepla). Výjimečně je možno tuto položku ve spotřebě tepla snížit téměř na nulu. Tepelná ztráta prostupem stěnami bazénu pod úrovní vodní hladiny (jde o prostup tepla do okolní zeminy) je dosti malá a o proti tepelné ztrátě přestupem z vodní hladiny ji lze většinou zanedbat (jedná se o hodnotu 5% až 10% z celkové tepelné ztráty). Tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny, na niž připadá ve spotřebě tepla pro ohřívání vody v bazénu významný podíl, počítá se ze vztahu:

$$Q_{ztr} = \alpha_{celk} \cdot S \cdot (t_w - t_v) \text{ [W]}$$

Kde α_{celk} [W/(m²K)] celkový součinitel přestupu tepla z vodní hladiny;

S [m²] plocha vodní hladiny;

t_w [°C] teplota vody v bazénu;

t_v [°C] střední teplota okolního vzduchu

Spotřeba tepla za měsíce je daná vztahem:

$$Q_{spotř} = h \cdot n \cdot Q_{ztr} \cdot 10^{-3} [\text{kWh}]$$

Kde h počet hodin při zakrytém (nezakrytém) bazénu v průběhu jednoho dne
 n počet dnů v měsíci;
 Q_{ztr} tepelné ztráty přestupem z vodní hladiny

Přestup tepla z vodní hladiny se skládá z přestupu tepla sáláním, prouděním (konvekcí) a vypařováním vody. Celkový součinitel přestupu tepla je tedy:

$$a_{celk} = a_s + a_k + a_{vyp} [\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$$

kde α_s $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ součinitel přestupu tepla sáláním (volí se $\alpha_s = 5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$);
 α_k $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ součinitel přestupu tepla konvekcí (volí se $\alpha_k = 10$ až 15)
 $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ pro bazény na volném prostranství a $\alpha_k = 5$ až $8 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ pro bazény v krytých halách);
 α_{vyp} $[\text{W}/(\text{m}^2\text{K})]$ součinitel přestupu tepla při vypařování vody na hladině.

Součinitel přestupu tepla při vypařování vody a_{vyp} závisí na součiniteli přestupu tepla konvekcí α_k a lze ho počítat ze vztahu:

$$a_{vyp} = \frac{a_k}{c} \cdot \frac{x''_w - x_v}{t_w - t_v} \cdot r [\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})]$$

$$a_{vyp} = \frac{10}{1010} \cdot \frac{17,22 - 5,44}{22 - 11,9} \cdot 2,4 \cdot 10^3 = 27,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{K})$$

kde c $[\text{J}/(\text{kgK})]$ měrná tepelná kapacita vzduchu ($c = 1010 \text{ J}/(\text{kg.K})$);
 x_w'' $[\text{kg}/(\text{kg s v})]$ měrná vlhkost nasyceného vzduchu při teplotě t_w ;

x_v	[kg/(kg s v)]	měrná vlhkost okolního vzduchu při teplotě t_v a relativní vlhkosti φ ;
r	[J/kg]	výparné teplo vody ($r = 2,4 \cdot 10^6$ J/kg)

Tepelnou ztrátu přestupem z vodní hladiny lze zmenšit tím, že se v době provozní přestávky (např. v noci) zakryje hladina vody vhodným nenasákavým a neprodyšným povlakem (např. fóliemi z plastů nesenými plováky). Tím se zmenší přestup tepla vypařováním téměř až na nulu a také se částečně zmenší přestup tepla sáláním a konvekcí. Od spotřeby tepla na úhradu tepelné ztráty přestupem z vodní hladiny je možno u nezakrytých bazénů, na něž svítí slunce, odečíst teplo získané absorpcí slunečního záření.

8.3. Výpočet s nočním zakrýváním bazénu

Nejdříve vypočteme součinitel přestupu tepla vypařováním z vodní hladiny α_{vyp} podle vztahu přičemž volím součinitel přestupu tepla konvekcí $\alpha_k = 10$ W/m²K. Vypočtené hodnoty jsou uvedeny níže (Tab. 4) .

Měsíc	t_w [°C]	t_v [°C]	φ [-]	$t_w - t_v$ [°C]	$x''_w \cdot 10^3$ [kg/kg s v]	$x_v \cdot 10^3$ [kg/kg s v]	$(x''_w - x_v) \cdot 10^3$ [kg/kg s v]	α_{vyp} [W/(m ² K)]
Květen	22	11,9	0,62	10,1	17,22	5,44	11,78	27,71
Červen	24	15	0,62	9	19,51	6,86	12,65	33,4
Červenec	24	16,3	0,61	7,7	19,51	7,47	12,04	37,16
Srpen	24	15,9	0,66	8,1	19,51	7,96	11,55	33,88
Září	22	12,5	0,68	9,5	17,55	6,03	11,52	28,82

Tabulka č. 4 součinitel přestupu tepla vypařováním z vodní hladiny

t_w	[°C]	Teplota vody v bazénu (volí se požadovaná teplota)
t_v	[°C]	Střední měsíční teplota vzduchu
φ	[-]	Relativní vlhkost vzduchu (měsíční průměr);
x''_w	[kg/(kg s v)]	Měrná vlhkost nasyceného vzduchu při teplotě t_w ;
x_v	[kg/(kg s v)]	Hodnoty byly odečteny obr. 4.1

Potom se ze vztahu vypočítá tepelná ztráta přestupem z vodní hladiny α_{celk} , přičemž volíme součinitel přestupu tepla konvekcí $\alpha_k = 10 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ a součinitel přestupu tepla sáláním $\alpha_s = 5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ (pro plochu vodní hladiny $20,14 \text{ m}^2$) a potřeba tepla pro úhradu této ztráty za měsíc.

Přitom se rozlišuje přestup tepla z nezakryté vodní hladiny v době užívání bazénu (od 8 do 20h) a přestup tepla se zakrytou vodní hladinou v noční době (od 20 do 8h), kdy se bazén nevyužívá. Proto zde rozlišujeme teplotu okolního vzduchu t_v . V době nezakrytého bazénu se počítá s průměrnou teplotou v době slunečního svitu, v době noční přestávky kdy je bazén zakrytý počítáme s nižší teplotou.

Tepelná ztráta přestupem tepla z vodní hladiny a spotřeba tepla k úhradě této ztráty

Nezakrytá vodní hladina v době od 8 do 20 h

$$\alpha_{\text{celk}} = \alpha_{\sigma} + \alpha_k + \alpha_{\pi} \quad [\text{W/(m}^2\text{ K)}]$$

$$\alpha_{\text{celk}} = 10 + 5 + 27,7 = 42,7 \text{ W/(m}^2\text{ K)}$$

$$Q_{\text{ztr den}} = \alpha_{\text{celk}} \cdot S \cdot (t_w - t_v) \quad [\text{W}]$$

$$Q_{\text{ztr den}} = 42,7 \cdot 20,14 \cdot (22 - 18) = 3440 \text{ W}$$

$$Q_{\text{spotř.den}} = h.n. \cdot Q_{\text{ztr.den}} \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh}]$$

$$Q_{\text{spotř.den}} = 12 \cdot 31 \cdot 3440 = 1280 \text{ kWh}$$

Zakrytá vodní hladina v době od 20 do 8 h

$$\alpha_{\text{celk}} = \alpha_k + \alpha_s \quad [\text{W/(m}^2\text{K)}]$$

$$\alpha_{\text{celk}} = \alpha_k + \alpha_s = 10 + 5 = 15 \text{ W/(m}^2\text{ K)}$$

$$Q_{\text{ztr noc}} = \alpha_{\text{celk}} \cdot S \cdot (t_w - t_v) \quad [\text{kWh}]$$

$$Q_{\text{ztr noc}} = 15 \cdot 20,14 \cdot (22 - 7) = 4532 \text{ W}$$

$$Q_{\text{spotř.noc}} = h.n. \cdot Q_{\text{spotř.noc}} \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh}]$$

$$Q_{\text{spotř.noc}} = 12 \cdot 31 \cdot 4532 = 1686 \text{ kW}$$

měsíc	t_w [°C]	t_v [°C]	$t_w - t_v$ [°C]	α_{celk} [W/(m ² K)]	Q_{ztr} [W]	n [dnů]	spotřeba tepla za měsíc $Q_{\text{spotř den}}$ [kWh]
							$Q_{\text{spotř den}} = 12 \cdot n \cdot Q_{\text{ztr}} \cdot 10^{-3}$
Květen	22	18	4	42,7	3440	31	1280
Červen	24	22	2	48,4	1950	30	702
Červenec	24	24	0	52,14	1050	31	391
Srpen	24	24	0	48,88	984	31	366
Září	22	19	3	43,82	2648	30	953

Tabulka č.5 - Výpočet tepelné ztráty z vodní hladiny a spotřeba tepla úhradě této ztráty ve dne

měsíc	t_w [°C]	t_v [°C]	$t_w - t_v$ [°C]	α_{celk} [W/(m ² K)]	Q_{ztr} [W]	n [dnů]	spotřeba tepla za měsíc $Q_{\text{spotř noc}}$ [kWh]
							$Q_{\text{spotř noc}} = 12 \cdot n \cdot Q_{\text{ztr}} \cdot 10^{-3}$
Květen	22	7	15	15	4532	31	1686
Červen	24	11	13	15	3927	30	1414
Červenec	24	13	11	15	3323	31	1236
Srpen	24	19	12	15	3625	31	1349
Září	22	9	13	15	3927	30	1414

Tabulka č.6 - Výpočet tepelné ztráty z vodní hladiny a spotřeba tepla k úhradě této ztráty v noci

Pozn.: Platí pro celou hladinu bazénu 20,14 m² při dodržení uvedené doby zakryté a nezakryté hladiny plochy bazénu. Pro noc je t_v průměrná noční teplota vzduchu $t_{v\text{-noc}}$ [<http://portal.chmi.cz/portal>]

Pro den je teplota vzduchu v době slunečního svitu $t_{v\text{-den}}$ [<http://portal.chmi.cz/portal>]

Dále se vypočítá teplo získané absorpcí slunečního záření na vodní hladině Q_{abs} . Vodní hladina zde představuje vodorovný sběrač energie ($\alpha = 0^\circ$). Výpočet energie zachycené osluněnou vodní hladinou je obdobný jako u normálních kolektorů. Počítá se však se stálou účinností $\eta_A = 0,85$ (předpokládá se, že vodní hladina odráží 15 % záření zpět do prostoru),

neboť tepelné ztráty přestupem do okolí jsou již zahrnuty v tepelné ztrátě přestupem z vodní hladiny. Dále se předpokládá, že zde zachytí vodní hladina i difúzní záření při zatažené obloze.

Tepelná energie získaná absorpcí na vodní hladině za měsíc

$$Q_{abs.mes} = \eta_A \cdot Q_{S,mes} \cdot S \text{ [kWh]}$$

$$Q_{abs.mes} = 0,85 \cdot 152,8 \cdot 20,14 = 2617 \text{ kWh}$$

kde η_A [-] účinnost pohlcování energie ze slunečního záření vodní hladinou, $\eta_A = 85\%$ (předpokládá se, že vodní hladina odráží 15 % záření zpět do okolí)

$Q_{S,mes}$ [kWh/m²] průměrná energie dopadající na vodorovnou plochu za měsíc

S [m²] vodní plocha bazénu

měsíc	η_A [-]	$Q_{S,mes}$ [kWh/m ²]	$Q_{S,mes, vyp}$ [kWh/m ²]	$Q_{abs,mes}$ [kWh]
Květen	0,85	152,8	129,9	2617
Červen	0,85	167,7	142,5	2870
Červenec	0,85	161,8	137,5	2769
Srpen	0,85	131,8	112	2256
Září	0,85	92,1	78,3	1577
Celkem				12089

Tabulka č.7 – Teplo získané absorpcí slunečního záření na vodní hladině

Výsledná spotřeba tepla bazénem pro jednotlivé měsíce:

$$Q_{potř} = (Q_{spotř.den} + Q_{spotř.noc.}) - Q_{abs,mes} \text{ [kWh]}$$

Květen	$(1280 + 1686) - 2617 = 349$	[kWh]
Červen	$(702 + 1414) - 2870 = -754$	[kWh]
Červenec	$(391 + 1236) - 2769 = -1142$	[kWh]
Srpen	$(366 + 1349) - 2256 = -541$	[kWh]
Září	$(953 + 1414) - 1577 = 790$	[kWh]

Z výše uvedeného vyplývá, že nedostatek energie je jen v okrajovém a koncovém měsíci uvažované koupací sezóny, který je nutno nahradit již dříve zmiňovanými a přípustnými druhy OZE (solární kolektory, tepelná čerpadla), zatím co ostatní měsíce (červen, červenec, srpen), mají přebytek energie zachycené osluněnou vodní hladinou.

Celková potřebná energie pro otop bazénu v sezoně (měsíc květen, září)

$$Q_{celková} = Q_{kvěť} + Q_{září} = 349 + 790 = 1139 kWh$$

$$A_{el.bazén,celk.} = \frac{Q_{celková}}{COP_{interpol.}} = \frac{1139}{10} = 113,9 kWh$$

9. Analýza energetického, ekonomického a environmentálního přínosu

9.1. Pořizovací náklady na tepelné čerpadlo

Cenová nabídka byla vypracována dle požadavků na náročnost tepelného výkonu.

Uvedené ceny jsou včetně DPH, se sazbou 15% pro rodinný dům.

Název položky	Počet ks	Cena za kus	Cena celkem
Tepelné čerpadlo Neoré MTX 5, včetně zásobníku TUV 200 l	1	206 885,- Kč	206 885,- Kč
Třicestný ventil ESBE 0-10V	1	11 615,- Kč	11 615,- Kč
Zónový ventil (bazén)	1	3 910,- Kč	3 910,- Kč
Přídavné čidlo ETS	1	1 139,- Kč	1 139,- K
EXP modul pro TUV a BIV	1	3 335,- Kč	3 335,- Kč
Konzola pod venkovní jednotku nerez	1	3 726,- Kč	3 726,- Kč
Elektromontáž	1	3 890,- Kč	3 890,- Kč
Revize elektro	1	3 680,- Kč	3 680,- Kč
Připojení hydromodulu k systému topení	1	9 602,- Kč	9 602,- Kč
Připojení venkovní jednotky	1	11 270,- Kč	11 270,- Kč
Spuštění, zaškolení	1	3 200,- Kč	3 200,- Kč
Doprava	1	500,- Kč	500,- Kč
Celkem včetně DPH 15%			262 752,- Kč

9.2. Výpočet ročních nákladů pro tepelné čerpadlo

Níže je uvedena celková celoroční potřeba elektrické energie.

$$A_{el, celkem} = A_{el, TC} + A_{el, dotop} + A_{el, bazén, celk.} + A_{el, TV} = 4187,7 + 753,4 + 113,9 + 812,9 = 5867,9 kWh$$

Po dosazení potřebných parametrů do tabulky na www.tzb-info.cz jsem zjistil náklady na provozní celoroční náklady na elektrickou energii pro tepelné čerpadlo. (obr.č.9.2). Bylo počítáno se sníženou sazbou D56 a ceny jsou uvedeny k aktuálnímu datu.

Zúčtované částky celkem - rozpis dodávky elektřiny a regulovaných služeb

Položka	Sazba	Období	Počet jednotek	Jednotka	Jednotková cena bez DPH (Kč)	Celkem (Kč)
Silová energie	VT	od 01.05.2014 do 01.05.2015	469	kWh	0,98475	462,24
	NT		5399		0,94725	5 113,73
Měsíční poplatek za odběrné místo			12	měsíc	60,00000	720,00
Daň z elektřiny			5868	kWh	0,02830	166,06
Obchod s elektřinou						6 462,03
Použití sítí	VT	od 01.05.2014 do 01.05.2015	469	kWh	0,25003	117,36
	NT		5399		0,03638	196,40
Měsíční poplatek za odběrné místo			12	měsíc	120,00000	1 440,00
Distribuční služby						1 753,76
Systémové služby	SS	od 01.05.2014 do 01.05.2015	5868	kWh	0,11925	699,75
Obnovitelné zdroje	PoZE		5868		0,49500	2 904,61
Poplatek OTE	OTE		5868		0,00755	44,30
Regulované služby						5 402,42
Celkem bez DPH						11 864,45

Dodávka elektřiny	Základ DPH	DPH	Celkem
Obchod s elektřinou	6 462,03	1 357,03	7 819,06
Regulované služby	5 402,42	1 134,51	6 536,93
Celkem	11 864,45	2 491,54	14 355,99

Obr.č. 9.1 – rozpis dodávky a nákladu el.energie pro tepelné čerpadlo

9.3. Výpočet ročních nákladů pro přímotopy

Níže je uvedena celková celoroční potřeba elektrické energie.

$$Q_{t_{celk}} \cdot potř. = \sum Q_{t_{(-15^{\circ}C)}} potř. + Q_{t_{(-14^{\circ}C)}} potř. + \dots Q_{t_{(20^{\circ}C)}} potř. + Q_{TV,r} = 18433,57 kWh$$

Po dosazení potřebných parametrů do tabulky na www.tzb-info.cz jsem zjistil náklady na provozní celoroční náklady na elektrickou energii pro přímotopy. (obr.č.9.3). Bylo počítáno se sazbou D45 pro přímotopy a ceny jsou uvedeny k aktuálnímu datu.

Zúčtované částky celkem - rozpis dodávky elektřiny a regulovaných služeb

Položka	Sazba	Období	Počet jednotek	Jednotka	Jednotková cena bez DPH (Kč)	Celkem (Kč)
Silová energie	VT	od 01.05.2014 do 01.05.2015	3134	kWh	1,08600	3 403,20
	NT		15300		0,94575	14 469,84
Měsíční poplatek za odběrné místo			12	měsíc	60,00000	720,00
Daň z elektřiny			18434	kWh	0,02830	521,67
Obchod s elektřinou						19 114,71
Použití sítí	VT	od 01.05.2014 do 01.05.2015	3134	kWh	0,25003	783,52
	NT		15300		0,03638	556,61
Měsíční poplatek za odběrné místo			12	měsíc	120,00000	1 440,00
Distribuční služby						2 780,13
Systémové služby	SS	od 01.05.2014 do 01.05.2015	18434	kWh	0,11925	2 198,20
Obnovitelné zdroje	PoZE		18434		0,49500	9 124,61
Poplatek OTE	OTE		18434		0,00755	139,17
Regulované služby						14 242,12
Celkem bez DPH						33 356,83

Dodávka elektřiny	Základ DPH	DPH	Celkem
Obchod s elektřinou	19 114,71	4 014,09	23 128,80
Regulované služby	14 242,12	2 990,84	17 232,96
Celkem	33 356,83	7 004,93	40 361,76

Obr.č. 9.2 rozpis dodávky a nákladu el.energie pro přímotopy

9.4. Porovnání provozních nákladů

Způsob vytápění	Pořizovací cena	Provozní náklady za rok	Návratnost
Elektrické přímotopy	46 000,- Kč	40 362,- Kč	8 let
Tepelné čerpadlo	262 752,- Kč	13 356,- Kč	0

Návratnost tepelného čerpadla je počítána na 8 let. Při využití dotace z programu Nová Zelená úsporám pro rok 2014 ve výši 50 000,- Kč by návratnost činila 6 let.

9.5. Environmentální zhodnocení

Produkce emisí znečišťujících látek a CO₂ při výrobě tepla se u většiny způsobů projevuje v místě výroby elektřiny a množství závisí na použitém palivu a výrobním zařízení. V případě užití tepelného čerpadla nebo elektřiny nedochází k lokální produkci emisí. Tento efekt je vhodné využít v oblastech se zvýšeným výskytem emisí a prachu. Environmentální přínos je třeba hodnotit z globálního hlediska nejen dle místa spotřeby energie. K využití nízkopotencionální energie z okolního prostředí tepelné čerpadlo využívá komponenty poháněné elektřinou. Elektrická energie je v místě spotřeby snížena o ztráty při její výrobě a rozvodu a dosahuje výše cca 29% primární energie. I přes nepříznivou účinnost výroby elektrické energie nejsou emise při její výrobě oproti jiným palivům nijak zvýšené.

Druh	Spotřeba (GJ)	Emise (kg/GJ)				
		TZL 0,03*	SO ₂ 0,49*	NO _x 0,42*	CO 0,04*	CO ₂ 325*
Přímotopy sazba D45	66,36	1,99	32,51	27,8	2,65	21 567
Tepelné čerpadlo sazba D56	21,12	0,63	10,34	8,87	0,84	6 864
Přínos: TČ/přímotop		1,36	22,17	18,93	1,81	14,703

Tab. č. 10 Produkce emisních látek srovnání

* Zdroj: SO₂, NO_x, - Schválený scénář Státní energetické koncepce z roku 2004, emisní faktory pro rok 2005 (po uvedení Temelína do provozu, scénář je zpracován po 5 letech), TL, CO, org. látky - Katalog opatření pro snížení energetické náročnosti (propočty SRC International CS, s.r.o. na základě REZZO 1999); CO₂ - vyhl. č. 425/2004 Sb.

10. Závěr

Provedením výpočtu tepelné bilance daného rodinného domu a následným návrhem tepelného čerpadla, jsem zjistil že:

- návratnost toho systému je 8 let, při využití z dotačního programu Nová Zelená úsporám by návratnost činila 6 let.
- vzhledem k faktu, že na se na pozemku nenachází přípojka na plyn, že rodinný dům nemá podsklepení pro skladování otopu jako uhlí, dřeva, peletek apod. a vzhledem k provozním nákladům na spotřebu elektrické energie pro přímotopy, popř. elektrický kotel, musím konstatovat, že jako nejvhodnější zdroj pro vytápění, ohřev TUV a vytápění venkovního bazénu je tepelné čerpadlo vzduch-voda.
- snížení tepelné ztráty pro venkovní bazén, zejména v měsících květen a září doporučuji zakrývat hladinu, vždy po ukončení koupacího procesu.

Seznam použité literatury a internetových odkazů

- [1] CIHELKA, J.: *Solární tepelná technika*, 1.vyd., Nakladatelství T. Malina, Praha, 1994, 208s., ISBN 80-900759-5-9
- [2] Kaminský, J. ; Vrtek, M. *Obnovitelné zdroje energie*. Ostrava : VŠB – TU Ostrava, 1998 . 102 s. ISBN 80-7078-445
- [3] Turner, W., C. *Energy Managment Handbook*. 3. vyd. Lilburn: The Fairmont Press, Inc., 1997. 40 s. ISBN: 0-13-728098-X
- [4] Halahyja, M.; Valášek, J. a kol.. *Solárna energia a jej využitie*. Bratislava: ALFA, 1983.304 s.
- [5] Cenka M. a tým autorů; *Obnovitelné zdroje energie*; ISBN 80-901985-8-9
- [6] Petráš D. a kolektiv; *Nízkoteplotní vytápění a obnovitelné zdroje energie*;
- [7] Dvořák. Z; Klazar L.; Petrák J.; *Tepelná Čerpadla* 04-232-87
- [8] <http://tzb-info.cz> [online]. Dostupné z URL: <<http://www.tzb-info.cz>>
- [9] <http://portal.chmi.cz/portal>
- [10] <http://www.arktis-tepelna-cerpadla.cz>
- [11] <http://www.faraheitservis.cz>
- [12] <http://www.agt.sk/cerpadla1.html>
- [13] <http://www.thermosolar.sk>
- [14] http://solab.fs.cvut.cz/Podklady/Vykurovanie_2008_matuska.pdf
- [15] <http://www.viessmann.cz>
- [16] <http://www.roth-uk.com>
- [17] <http://www.daikin.cz>
- [18] <http://www.neore.cz>
- [19] <http://www.impromat-klima.cz>
- [20] <http://www.mzp.cz>

Seznam použitých symbolů a zkratk

$A_{elektrické}$	[kWh]	spotřeba elektrické energie
C	[kg/h]	tepelná kapacita vody
$I_{stř}$	střední intenzita slunečního záření během dne, kde se vychází z dlouhodobých	
$P_{el.}$	[kW]	příkon
Q	[W]	výkon otopného tělesa
$Q_{Aměs.}$	[W/(m ² K)]	průměrná energie dopadající za měsíc při úhlu sklonu
Q_{dotop}	[kW]	teplo potřebné pro elektrický dotop
$Q_{dopot.spotř.}$	[kW]	potřeba elektrického dotopu
Q_S měs	[kWh/m ²]	průměrná energie dopadající na vodorovnou plochu za měsíc
$Q_{s den.teor}$	[kWh/m ²]	teoreticky možná dopadající energie tab. 4.5
Q_t	[W]	tepelné ztráty (při -1°C)
$Q_{t,interpol}$	[kW]	interpolační
Q_{ztr}	[W]	tepelné ztráty přestupem z vodní hladiny
S	[m ²]	plocha vodní hladiny
S	[m ²]	plocha místnosti
V	[m ³]	objem místnosti
Z	[Pa]	tlaková ztráta odporem
c	[J/(kgK)]	měrná tepelná kapacita vzduchu ($c = 1010 \text{ J/(kg.K)}$)
c	[J/kgK]	měrná tepelná kapacity vzduchu při 20°C
h	počet hodin při zakrytém (nezakrytém) bazénu v průběhu jednoho dne	
h	[m]	vzdálenost od podlahy ke stropu
l_o	[W/m ²]	sluneční konstanta
n	počet dnů v měsíci	
r	[J/kg]	výparné teplo vody ($r = 2,4 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$)
t_A	[°C]	střední teplota absorpční plochy (tekutiny proudící absorbérem), volím 35°C
t_e	[°C]	venkovní teplota (exteriér)
t_v	[°C]	střední teplota okolního vzduchu
t_w	[°C]	teplota vody v bazénu
t_1	[°C]	vstupní teplota do okruhu

t_2	[°C]	výstupní teplota z okruhu
x_v	[kg/kg s v]	měrná vlhkost okolního vzduchu při teplotě t_v a relativní vlhkosti φ ;
x_w''	[kg/kg s v]	měrná vlhkost nasyceného vzduchu při teplotě t_w
α_{celk}	[W/(m ² K)]	celkový součinitel přestupu tepla z vodní hladiny
α_k	[W/(m ² K)]	součinitel přestupu tepla
α_s	[W/(m ² K)]	součinitel přestupu tepla sáláním
α_{vyp}	[W/(m ² K)]	součinitel přestupu tepla při vypařování vody na hladině
Δp_{DIS}	[Pa]	celková ztráta
Δt	[°C]	teplotní spád
ρ	[kg/m ³]	hustota vzduchu při 20°C
η_A	[-]	účinnost kolektoru v daném období
φ	[-]	relativní vlhkost vzduchu
$\bar{\tau}$	[h]	poměrná doba slunečního svitu tab. 4.6

